

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

CONTROL D'UN AGV PER DESPLAÇAMENTS A L'AIRE LLIURE



Memòria

Autor: Ricard Palomar Alarcón
Director: Joan Domingo Peña
Convocatòria: Maig 2018

Resum

Aquest projecte tracta sobre l'estudi d'un procés logístic que es vol automatitzar. En aquest cas, es pretén substituir el component humà, que actualment s'encarrega de realitzar el subministrament de peces entre una sèrie de tallers, per un o més AGV, és a dir, vehicles de guiatge automàtic. La característica principal és que aquests AGV circularien per exteriors, a l'aire lliure. Degut a aquest punt s'ha proposat, entre tots el tipus de guiatge existents, que els AGV utilitzarien el sistema de guiatge per GPS.

En una primera part, es realitza un estudi teòric del procés a automatitzar. Es calculen les rutes, distàncies i temps necessaris. Com a resultat, es proposa el tipus de ruta més adequada i amb el nombre de vehicles necessaris. Després, es realitza una proposta per a la creació d'aquests vehicles tenint en compte les necessitats físiques que han de suplir, els sistemes de seguretat que haurien de portar instal·lats i altres elements diferencials.

La segona part tracta sobre la creació d'un prototip per tal de demostrar que el tipus de guiatge escollit, el GPS en aquest cas, és viable per a la seva implementació en un projecte. Llavors, s'explica tots els elements que formen el prototip i les diferents connexions entre ells. Després, es tracten diversos temes implicats en el guiatge GPS i s'aprofundeix en el funcionament d'algun sensor en concret. Finalment, s'expliquen els diversos programes i algorismes que fan funcionar al prototip.

Índex

Resum.....	i
1. Introducció.....	P. 3
2. L'estat de l'art	
2.1 Sistema AGV.....	P. 4
2.2 Sistemes de seguretat per els AGV.....	P. 5
2.3 Sistema de control d'un sistema AGV i gestió del trànsit.....	P. 6
2.4 Tipus de guiatge i navegació.....	P. 7
2.5 Enrutament.....	P. 9
2.6 Sistema de planificació de tasques.....	P. 12
3. Projecte: Control d'un AGV per desplaçaments a l'aire lliure	
3.1 Objectius.....	P. 14
3.2 Circuit exterior o ruta.....	P. 14
3.3 Tipus de guiatge.....	P. 26
3.4 L'AGV.....	P. 28
3.5 Elements de seguretat vial.....	P. 37
3.6 Estudi econòmic de la implantació de la proposta AGV.....	P. 39
4. Prototip AGV circuit exterior	
4.1 Conceptes relacionats amb el tipus de guiatge emprat: GPS.....	P. 41
4.2 Hardware prototip.....	P. 45
4.3 Aplicacions per al control remot.....	P. 55
4.3.1 App per la presa de coordenades.....	P. 55
4.3.2 App per l'AGV.....	P. 57
4.4 Implementació software del sistema.....	P. 59
4.4.1 Programa MPU-9250.....	P. 59
4.4.2 Programa AGV Enrutador.....	P. 65

4.4.3 Programa AGV Navigation.....	P. 67
Conclusions i treball futur.....	P. 73
Bibliografia.....	P. 76
Pressupost per a la realització del prototip.....	P. 77
Annex A: Programa AGV Enrutador.....	P. 79
Annex B: Programa AGV Navigation.....	P.83
Annex C: Peça Suport Mòdul Ultrasònic.....	P.105
Annex D: Peça Suport Mòdul MPU-9250.....	P. 106



1. Introducció

El desenvolupament de la tecnologia sempre ha donat lloc a revolucions econòmiques i industrials, per això és important entendre i adaptar les innovacions i tendències que apareixen en els diferents àmbits per tal d'optimitzar els processos i funcionaments.

Avui en dia, estem en plena revolució industrial: La Indústria 4.0. Aquesta és una revolució que destaca en què els objectes presents en una fàbrica, des de la instal·lació fins a la maquinària, comencen a transformar-se en objectes intel·ligents, capaços d'interactuar entre ells, comunicar dades sobre l'estat de producció o sobre el seu propi estat, etc. D'altra banda, totes les revolucions sempre han millorat l'automatització de processos, fet que en aquesta destaca de gran manera.

Aquest treball és només un altre exemple d'Indústria 4.0. El projecte tracta l'automatització d'un procés logístic que es realitza en la fàbrica de SEAT en Martorell. L'objectiu de l'automatització d'un procés sempre és l'optimització, millorar la regularitat i l'estalvi. El projecte bàsicament pretén substituir les persones, que s'encarreguen de transportar peces d'un taller a un altre de la fàbrica, per un o més vehicles de guiatge automàtic o més coneguts com a AGV.

L'empresa SEAT és pionera en l'adaptació i implementació de noves tecnologies. De fet, SEAT ja compta amb una important flota d'AGV per a transports interns entre tallers. Aquests AGV es desplacen per l'interior de diferents tallers transportant peces d'un lloc a l'altre, des d'un magatzem a una línia de muntatge per exemple. La particularitat d'aquest projecte però, és la implementació d'un AGV que circuli majoritàriament per exteriors i a l'aire lliure. Actualment SEAT no disposa de cap AGV que circuli per exteriors. Tot i que l'essència és la mateixa, el fet de què circuli per exteriors aporta un context totalment diferent als AGV que circulen per interiors. El tipus de guiatge, sistemes de seguretat, elements de protecció i senyalitzacions s'han de reinterpretar per tal de poder complir amb els diferents requeriments.

Aquest projecte està estructurat en tres apartats diferenciats. La primera part del projecte és el resultat d'una investigació sobre tot el que actualment es sap i es pot trobar dels AGV. La segona part és l'explicació del procés a automatitzar i les diferents propostes escollides per portar a terme aquesta automatització. Finalment, l'últim apartat és l'explicació de la fabricació del prototip que pretén demostrar una dels apartats del projecte. Aquest prototip demostra principalment la viabilitat del tipus de guiatge escollit per a la proposta d'AGV per a circuit exterior.

2. L'estat de l'art

AGV són les sigles de *Automatic Guided Vehicle*, és a dir, vehicle guiat automàticament. És un robot mòbil o autòmat autopropulsat capaç de seguir una trajectòria variable de manera automàtica. La trajectòria que segueixen es caracteritza per poder ser variada a través d'un patró flexible i fàcilment modificable. Aquests tipus de sistema garanteixen el transport de materials en una ruta predeterminada, de manera ininterrompuda i sense que sigui necessària la intervenció directa de l'home.

D'aquesta manera, un dels objectius de la implantació d'aquesta tecnologia és eliminar el treball manual per a tasques repetitives o perjudicials que puguin produir-se en determinats processos industrials. Es tracta de sistemes adaptables i personalitzables capaços de transportar tot tipus de càrrega, reduint a zero els accidents que es puguin produir en el tràfec de mercaderies. El seu ús principal és el transport de materials en plantes de fabricació o magatzems.

2.1 Sistema AGV

Un sistema de vehicles guiats automàticament es una bateria de vehicles amb capacitat de programació de destí, selecció de trajectòria i posicionament. El sistema AGV pertany a una classe de sistemes de manipulació de materials la qual es caracteritza per ser altament flexible, intel·ligent i versàtil que s'utilitza per a transportar materials des de diversos punts de càrrega al llarg de les instal·lacions d'una planta o entorn.

Els components d'un sistema AGV són:

- **El vehicle (AGV):** Encarregat de complir les ordres realitzant moviments de materials dintre d'un sistema.
- **La unitat de control (Host):** Supervisa i dirigeix els procediments i activitats del sistema. S'encarrega de generar ordres segons les dades captades en planta i el sistema de gestió del client.
- **Gestor d'ordres:** Rep les ordres generades, les tracta i reordena seguint la màxima optimització del sistema i respectant la prioritat del client.
- **Control de trànsit:** Assigna les ordres a cada AGV del sistema i vigila el seu correcte compliment.
- **La interfase de computadora:** Es comunica amb el sistema i la computadora.

Els objectius d'un sistema AGV són:

- Maximitzar el trúput del sistema.
- Minimitzar el temps requerit per a finalitzar els treballs.
- Minimitzar els temps de trajecte dels vehicles carregats o descarregats.
- Minimitzar els costos de moviments i manipulacions.
- Minimitzar els temps d'espera entre càrregues.

Els avantatges d'un sistema AGV són:

- **Flexibilitat:** Aquests sistemes són els més flexibles comparats amb altres sistemes utilitzats en la manipulació de materials. Entre els seus avantatges destaca la alta flexibilitat en els canvis que es poden fer en els seus recorreguts, fet que permet una optimització de l'espai en funció de la necessitat del moment.
- **Major confiabilitat:** Són els més fiables en comparació amb altres tipus de sistemes empleats en la manipulació de materials. Un AGV pot ser fàcilment substituït per un altre en cas d'inconvenients sense provocar una parada en el sistema de manufactura.
- **Estalvi d'inversió:** Els costos d'operació dels AGV és menor que el d'altres sistemes de manipulació de materials, ja que només necessita una persona per a la seva programació. És fàcil de realitzar el seu manteniment, consumeix menys potència i rarament fallen fent que el temps mort del sistema sigui baix gràcies al seu funcionament continu.
- **Aplicacions dels AGV:** Aquests vehicles disposen de diverses aplicacions, entre les més importants existeix el transport, càrrega i descàrrega de materials i neteja.

2.2 Sistemes de seguretat per els AGV

Els AGV normalment es desplacen per l'interior de tallers i magatzems per on circula gent, carretes, tractores, etc. Així com tot vehicle que circula en vies transitades, ha de tenir certs elements i dispositius per garantir certa seguretat. Aquests elements de seguretat són:

- **Escàner làser:** És utilitzat en zones internes. Cobreix perimetralment l'àrea del AGV disminuint la seva velocitat a mesura que detecta una presència, fins al punt d'aturar-lo quan la detecció d'aquesta és molt propera, per evitar la col·lisió.
- **PLC de seguretat:** La normativa europea exigeix que els camps del làser de seguretat commutin en funció de la informació real. Tècnicament es coneix com *Safety Counting* a aquesta funcionalitat. Són PLC que gestionen sistemes de seguretat de manera redundant emprant dades reals.
- **Bumpers (Para-xocs):** Eviten danys en l'AGV en cas de col·lisió. Aquests cobreixen les zones exteriors desprotegides per altres sistemes de seguretat. S'apliquen en AGV que no requereixen una alta velocitat en el seu funcionament. La majoria d'aquests dispositius, activen els frens al detectar la col·lisió.

- **Sensors de seguretat:** Ajuden a l'AGV a detectar objectes propers. Els sistemes operatius s'encarreguen de rebre les senyals elèctriques dels sensors per guiar el vehicle. Trobem diferents tipus de sensors:
 - **Sensors capacitius:** Detecten objectes metàl·lics o no metàl·lics. S'activa mitjançant un canvi en la capacítancia de la seva zona activa.
 - **Sensors inductius:** A mesura que s'apropa un objecte s'indueixen corrents d'histeresi en l'objecte causant una pèrdua d'energia i menys amplitud d'oscil·lació, fet que activa el sensor.
 - **Sensors infraroigs:** Funciona igual que l'escàner làser.
 - **Sensors ultrasònics:** Detecta objectes a través de l'emissió i reflexió d'ones ultrasòniques.
 - **Sensors electromagnètics:** Detecten objectes magnètics o de naturalesa magnètica com el ferro o imants.

Els AGV també estan compostos per diversos sistemes de seguretat per al maneig de la càrrega i descàrrega de material. El sistema de diagnòstic, és un dels més importants, permet analitzar el funcionament complet de l'AGV en qualsevol moment. Aquest redueix el temps de resolució d'incidències i es poden resoldre problemàtiques del funcionament amb anticipació.

2.3 Sistema de control d'un sistema AGV i gestió del trànsit

El tipus de programació que porti implementada un AGV tindrà una influència enorme en la circulació que aquest realitzi en el seu recorregut pel circuit. El tipus de programació que posseeixi l'AGV tindrà gran rellevància en aspectes com pot ser la seva interacció amb la resta de vehicles del sistema o la seva actuació en el trànsit dels encreuaments que existeixin en la instal·lació.

En general, es configuren utilitzant un sistema de bloqueig per zones de trànsit. Aquesta configuració es basa en dividir la xarxa en blocs independents. En el cas en què un dels vehicles entra en un bloc, provoca que cap altre pugui entrar-hi.

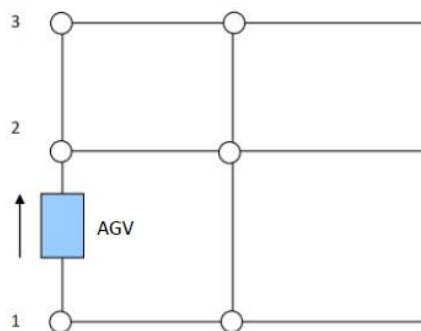


Figura 2.3.1 Dibuix representatiu d'un circuit amb

Per tal de controlar un AGV trobem diferents vies possibles:

- **Sistema centralitzat:** Un ordinador central controla el moviment de cada vehicle en el sistema, als que indica permanentment la velocitat, ruta i parades que deuen realitzar en el seu recorregut, en funció de la situació de la resta dels AGV. En el cas de què la seva ruta coincideixi amb la d'un altre en un moment concret, és el sistema central qui s'encarrega d'assignar les prioritats de pas, en benefici de la productivitat i la seguretat del conjunt. Aquest sistema és més eficient, però menys econòmic. La comunicació entre l'ordinador central i els autòmats es realitza per mitjà de balises.
- **Sistema descentralitzat:** Cada vehicle incorpora la seva pròpia unitat de control, que està programada per obtenir el màxim rendiment operatiu. En cas de què dos AGV s'aproximin a un punt d'intersecció o encreuament, es comunicaran entre ells per decidir qui a de cedir el pas a l'altre, en funció de la seva situació dinàmica.

2.4 Tipus de guiatge i navegació

Existeixen diferents sistemes de guiatge per als AGV que es poden utilitzar, l'ús d'aquests depenen de l'ambient on treballarà, la seva aplicació, les necessitats i els costos d'inversió. La trajectòria guia deu ser prou flexible perquè els AGV no s'obstaculitzin entre ells o amb als tipus de trànsit. Els punts més importants en la navegació d'un AGV són: saber on es situa, saber on ha d'arribar i el camí que ha de recórrer.

Els diferents tipus de guiatge són:

- **Sistema de guiatge per cable:** L'AGV segueix la trajectòria per mitjà d'un cable energitzat que circula sota terra detectant les seves senyals per mitjà d'una antena. Aquest sistema és dels més segurs i fiables, però el cost d'inversió és alt degut a la necessitat de cablejar tot el recorregut. A més, cal realitzar obre en tot el circuit per col·locar el cablejat i cada reparació en aquest implica la perforació del terra.
- **Sistema de guia inercial:** Per mitjà d'un microprocessador condueix la trajectòria programada. En aquest sistema de guiatge s'utilitzen sensors de moviment com acceleròmetres i sensors de rotació giroscòpics que ajuden en la rotació del robot. La flexibilitat del recorregut i trajectòria són molt notables. Per altra banda, aquest sistema per si sol pot donar lloc a problemes, ja que es van acumulant errors cada cop que calcula el posicionament en referència a la seva posició i la del punt d'inici o destí. Per tot això, aquest sistema necessita d'algun altre tipus de navegació per tal d'evitar aquest problema.
- **Sistema de guia infraroja:** L'AGV reconeix mitjançant visió artificial una tira de mirall catadiòptic, realitzant els seus moviments per seguir la ruta. No és recomanables per a exteriors.

- **Sistema de seguiment de trajectòria (*Path-tracking*):** Sistema basat en la determinació de la velocitat i ajusts en la direcció a cada instant de temps. Això és necessari per a què un AGV segueixi un camí concret. Aquest camí està marcat per diferents punts en unes coordenades concretes. El *Path-tracking* consta de dues parts. La primera part és la Fase de Recodificació, on un operari humà dirigeix manualment el vehicle automàtic a través de la trajectòria desitjada gravant les coordenades de gir, desplaçaments i velocitats. En la segona part, l'AGV realitza el camí automàticament utilitzant les dades preses de la primera part. Si durant la trajectòria el vehicle es troba amb obstacles els evitarà i intentarà tornar a la ruta original.
- **Sistema de guia òptica:** Partícules o una cinta fluorescent sobre el terra de ciment descriuen una trajectòria establerta. El vehicle detecta el camí per mitjà de fotosensors. Aquest sistema ofereix una gran flexibilitat apart d'un baix cost. Per contra, no és fiable en exteriors ni en llocs amb característiques ambientals concretes.
- **Sistema de guiatge per cinta reflexiva:** En aquest tipus de guiatge es poden utilitzar diferents tipus de cintes reflexives les quals poden ser de diferents colors. Aquesta cinta es posiciona en el terra descrivint la ruta que el robot ha de realitzar. Aquest detecta les diferents intensitats de llum que es reflecteixen i segueix el camí marcat. Presenta prestacions semblant a la de guia òptica.
- **Sistema de guiatge magnètic:** El sistema de guiatge magnètic funciona de la mateixa manera que el guiatge per cinta reflexiva, però en aquest cas s'utilitza cinta magnètica i un sensor adequat.
- **Sistema de guiatge làser:** Un sensor làser rotatiu amb capacitat de gir de 360° es utilitza per el guiatge i posicionament del vehicle. La zona per on circuli el robot estarà definida per marques reflectants o miralls, on totes han d'estar al mateix nivell, que el làser detectarà i permetrà l'orientació de l'AGV triangulant la seva posició amb la del mapa. Aquest és un sistema extremadament flexible, però no és recomanable en exteriors.
- **Sistema de cubs reflectors:** En aquest sistema dos o tres cubs reflectors es posicionen a les cantonades de l'àrea per on es pretén que es mogui l'AGV. Un làser rotacional posicionat a la part superior del robot determina les posicions dels cubs i envia la informació a un computador per determinar el moviment. És un sistema similar al de guiatge per làser amb miralls.
- **Reconeixement de guia amb codis:** En aquest sistema es poden utilitzar codis de barra o codis QR per a què el robot segueixi la trajectòria. El vehicle està equipat amb una càmera en la part inferior adaptada per a reconèixer el tipus de codi emprat en la ruta. Destacar la seva flexibilitat i simplicitat.
- **Sistema de navegació amb RFID (*Beaconing*):** Aquest sistema funciona a través de balises. Una balisa és un petit dispositiu adjuntat a una localitat dins l'espai operacional que emet informació. Els receptors d'aquesta informació, anomenats oients, determinen la situació actual. Per a la comunicació entre ambdós s'utilitza una combinació de radiofreqüència (RF) i ultrasons perquè l'oient determini la distància amb les balises.

La balisa envia la RF i ultrasò al mateix temps, però l'oient rep primer la senyal RF que activa el seu receptor d'ultrasons. El receptor utilitza la diferència de temps entre que rep la senyal RF i l'ultrasò per determinar la distància a la que està la balisa. D'altra banda, no només permet la identificació d'objectes o elements sinó que també possibilita l'intercanvi d'informació entre ells.

- **Sistema de navegació amb GPS:** En aquest sistema el vehicle disposa d'una antena on per una banda connecta amb els satèl·lits i per una altra amb un punt de referència fix que s'utilitza com a element d'autocorrecció. Com a sistema aporta una gran flexibilitat, ja que la pista es pot modificar amb molta facilitat. A més, no es veu afectat per cap agent climàtic. Els seus desavantatges són que només es pot utilitzar en exteriors, el seu cost és elevat, no n'hi ha protecció alguna d'informació i cal garantir connexió amb satèl·lits.
- **Sistema de navegació amb GPRS o Wi-Fi:** Aquests dos últims sistemes encara actualment estan en investigació. Sorgeixen pel fet que els senyals GPS per si sols són extremadament febles i inutilitzables en certs ambients; en segon lloc, els senyals GPS són susceptibles a la interferència intencional i no intencional; i tercer, els senyals GPS civils són xifrats, no amb autenticitat, i s'especifiquen en els documents disponibles al públic, pel que són falsificables. Així es pretén que el vehicle autònom pugui aprofitar els centenars de senyals que trobem en qualsevol punt, com telèfons, ràdio, televisió, Wi-Fi i senyals de satèl·lits. Per tant, aquest sistema actualment és un sistema complementari a algun altre facilitant la comunicació de dades i aportant altres camins per a l'intercanvi d'informació entre els AGV i els centres de control.

2.5 Enrutament

L'enrutament és un dels aspectes principals en un sistema AGV, ja que implica la decisió de quines tasques realitzarà el robot i on es realitzarà la càrrega i descàrrega de material segons la distribució de l'espai on s'ha de treballar. En aquest procés del disseny d'un sistema AGV cal tenir en compte el trajectes, les interseccions i les distàncies a recórrer per el vehicle per realitzar l'enrutament de la manera més òptima per al procés.

Existeixen dos models d'enrutament convencionals definits:

- **Sistema unidireccional:** És un sistema molt popular en magatzems o centres de distribució. Aquest model prioritza les rutes i direccions que minimitzen la distància total de càrrega i de buit o no càrrega. Principalment es caracteritza en què els vehicles segueixen rutes d'un únic sentit i molt concretes. Aquest sistema és aplicable en fluxos complexos i trànsits abundants.
- **Sistema bidireccional:** No és un sistema gaire popular ni emprat, però pot arribar a resultar més productiu que el unidireccional. Es basa en tenir rutes que permetin els dos sentits. El problema és que la planificació de les rutes depenent de les

necessitats pot ser molt complicada, ja que és un sistema útil en processos on el flux i trànsit de vehicles són reduïts.

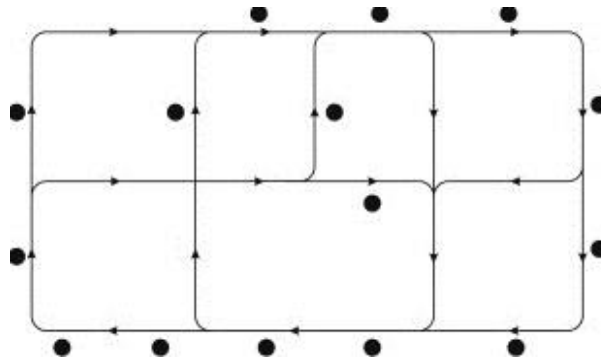


Figura 2.5.1 Exemple de convencional unidireccional (Font: David Paniagua Albillos)

A partir d'aquests models convencionals, sorgeixen els models no convencionals:

- **Sistema de bucle únic:** Es diferencia en què els vehicles recorren el mateix circuit en bucle, sense cap direcció o ruta alternativa. Normalment la ruta en bucle és unidireccional. També es pot utilitzar una bidireccional, però això provoca interferències entre vehicles. Aquest sistema permet el perfeccionament d'un procés, útil en els quals sigui repetitiu i constant. D'altra banda també es redueixen els temps perduts amb interferències entre vehicles i els problemes que es creen en els nodes d'intersecció. El seu rendiment dependrà del nombre de vehicles en el circuit, com més vehicles es rendirà més però també cal un *timing* de tots els factors que participen en el bucle molt més acurat perquè no n'hi hagi interferències.
- **Sistema tàndem:** Sistema que combina diferents bucles que comparteixen una zona comuna. Els vehicles recorren el seu circuit bucle constantment. Amb aquest mètode creem petits circuits interconnectats entre ells que no es solapen. Les interferències i bloquejos entre vehicles són totalment eliminats, ja que normalment aquests circuits petits estan recorreguts per un únic AGV.

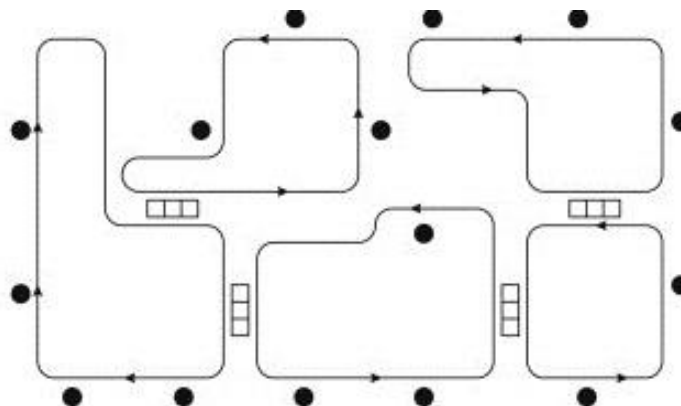


Figura 2.5.2 Exemple gràfic de sistema tàndem (Font: David Paniagua Albillos)

Taula 1. Comparació de sistemes de ruta-guia

	Convencional	Bucle únic	Tàndem
<i>Número de zones mútuament exclusives</i>	Una zona, sistema totalment connectat	Una zona, sistema totalment connectat	Sistema dividit que conserva connectivitat mitjançant transferència de buffers, no pot ser connectat per a un cas especial
<i>Número de vehicles per zones</i>	Múltiple	Múltiple	Singular
<i>Operar amb sistema bidireccional</i>	Difícil	Difícil	Simple
<i>Control de trànsit</i>	Difícil	Fàcil	Fàcil
<i>Programació i enviament de vehicles</i>	Sistema complex	Simple	Simple
<i>Probabilitat de congestió</i>	Alta	Baixa	No
<i>Requeriment de buffers intermedis (per a transferir càrregues entre bucles opunts de transferència)</i>	No	No	Sí

Taula 2. Avantatges i desavantatges del sistemes de ruta-guia

Sistemes de ruta-guia	Avantatges	Inconvenients
Convencional	<ul style="list-style-type: none"> ·Flexible en rutes ·Eficiència aconseguida emprant rutes alternatives ·Distàncies de recorregut curtes ·Tolerància a errors de sistema 	<ul style="list-style-type: none"> ·Control complicat ·Congestió i problemes de interferència poden passar ·Dificultat d'expansió
Bucle únic	<ul style="list-style-type: none"> ·Simplicitat de control ·Congestió, bloquejos i problemes d'interferències reduïts en comparació al sistema convencional 	<ul style="list-style-type: none"> ·Menys flexibilitat en fer rutes ·Menys tolerància a errors de sistema ·Possibles bloquejos i interferències entre vehicles ·Necessària capacitat extra de transport ·Recorreguts llargs de càrregues ·Dificultat d'expansió
Tàndem	<ul style="list-style-type: none"> ·No pateix congestions ni interferències entre vehicles ·Control simple ·Fàcil expansió ·Ús efectiu de sistema bidireccional 	<ul style="list-style-type: none"> ·Requereix buffers de transferència addicionals ·Restricció de un vehicle per ruta o zona ·Menys tolerància a errors de sistema ·Algunes càrregues són manipulades per més d'un vehicle ·Requereix de temps adicional per transferir càrregues als buffers

2.6 Sistema de planificació de tasques

El sistema de planificació de tasques decideix quan, on i com un vehicle hauria d'actuar per realitzar una tasca, incloent la ruta que hauria de seguir. Trobem dos tipus de sistemes diferenciats:

- **Planificació *offline*:** Destaca en què totes les sol·licituds de transport es coneixen per avançat. Les rutes poden ser elaborades i optimitzades abans que els vehicles es posin en marxa. Un petit canvi en l'hora de fer la tasca, un canvi en el temps de conducció degut a la congestió o un error en un vehicle pot impactar o desmuntar tota la planificació. Per això, la planificació *offline* és difícil que es pugui dur a terme en una planta ja que moltes de les necessitats pròpies d'un ambient de treball sorgeixen sobre la marxa.
- **Planificació *online*:** En aquest tipus de planificació les tasques s'assignen i s'actualitzen dinàmicament a mesura que passa el temps, ja que analitza la informació que rep. D'aquesta manera l'adaptació als esdeveniments és l'adequada a la realitat laboral del dia a dia. A més, qualsevol problema pot ser corregit a l'instant i els trajectes poden ser optimitzats millor.

La quantitat de moviments i accions que puguin realitzar els AGV és molt àmplia i extensa. A mesura que creix l'ús i la demanda d'aquests vehicles, també creixen les necessitats de versatilitat del conjunt per la circulació en circuits cada cop més específics. Tots aquests moviments es troben codificats en el circuit a través dels TAGs que es reparteixen al llarg de tota la instal·lació.

- **TAGs:** S'encarreguen de codificar les accions que han de realitzar els vehicles automàtics. Són sistemes que principalment treballen amb tecnologia d'Identificació per Radiofreqüència (RFID), amb l'objectiu fonamental de transmetre una informació codificada per mitjà d'ones de ràdio.. Són uns dispositius de petita mida, similars a un adhesiu, que poden adherir-se o incorporar-se a un producte, animal o persona. Contenen antenes que els permet rebre i respondre a peticions per radiofreqüència des d'un emissor-receptor RFID. Un dels avantatges de l'ús de radiofreqüències és que no requereixen visions directes entre emissor i receptor.

Són etiquetes passives, és a dir, no posseeixen alimentació elèctrica. El senyal que els arriba dels lectors indueix un corrent elèctric petit i suficient per fer operar el circuit integrat en el TAG, permetent-li generar i transmetre una resposta. Aquesta resposta pot ser qualsevol tipus d'informació, des de instruccions fins a codes identificadors, fins i tot poden incloure memòria no volàtil.

Els adhesius passius solen tenir distàncies de lectura compreses entre els 10 centímetres fins a uns pocs metres en els sistemes més potents. La distància de funcionament depèn de la freqüència d'utilització i el disseny i mida de l'antena. Buscant economitjar tant l'energia com el seu cost, les respostes dels TAGs són necessàriament breus.

En el cas que tinguem un sistema centralitzat, les comunicacions entre l'ordinador central i els diferents robots es realitza mitjançant balises:

- **Balises:** Dispositius que serveixen com a mètode de control per a les funcions que realitzen els AGV i per regular la circulació dels vehicles en circuits programats a través de sistemes de control centralitzat. Existeixen un gran número de balises en funció del tipus d'interacció que desenvolupen en el circuit.

Per exemple, les balises destinades a la maniobrabilitat del vehicles són capaces de rebre un senyal de presència del robot i a través d'un polsador poder donar sortida de nou al AGV. D'altra banda, les balises de control i maneig d'encreuaments reben un senyal de presència en la intersecció i transmeten un altre senyal, que es manté mentre el vehicle no allibera l'encreuament, a la resta de la flota.

3. Projecte: Control d'un AGV per desplaçaments a l'aire lliure

3.1 Objectius

Aquest Treball Final de Grau té l'objectiu principal d'automatitzar una ruta exterior d'un procés logístic de l'empresa SEAT en la fàbrica de Martorell. Per tal d'arribar a assolir-ho, cal tenir en compte diferents punts a tractar:

- **Circuit exterior o ruta i enrutament:** Adaptar la ruta actual per tal de permetre l'automatització i implantació dels AGV.
- **Tipus de guiatge:** Un cop escollida la ruta ideal, s'ha d'escollir el mètode de guiatge adient a la situació concreta i tenint en compte els problemes deguts al fet de què sigui un circuit exterior.
- **L'AGV:** Tenint en compte les necessitats del procés i els punts anteriors, cal escollir un AGV dins del mercat o adaptar-ne un per tal de què pugui ser funcional.
- **Prevenició de riscos de seguretat i elements de seguretat vial:** Sèrie de mesures emprades per tal de complir amb la normativa de riscos laborals específica per al compliment del projecte.
- **Repercussió econòmica:** Estudi econòmic dels costos, inversions del projecte i teòrics guanys.

El projecte es considera com una proposta per a l'empresa. Degut a certes limitacions molts resultats obtinguts són teòrics i especulatius, ja que no s'han pogut posar a prova en el terreny.

3.2 Circuit exterior o ruta

Com s'ha comentat en anterioritat, la fàbrica de SEAT realitza tot el procés del producte: disseny, desenvolupament i producció. Això es veu reflectit en el procés que aquest treball vol automatitzar.

El procés és bàsicament un transport de peces cap a diferents magatzems. La qüestió es troba en què aquestes peces es fabriquen a un lloc de la fàbrica i s'han de transportar a un altre que es troba a una distància considerable. Per aquest motiu el circuit és exterior, perquè ni l'origen ni els destins es troben dins les mateixes naus industrials.

Les peces es fabriquen al taller de Premses de Xapisteria (Taller 1) i han d'anar als magatzems dels tallers T6 i T15. Aquestes peces han d'anar a diferents llocs, ja que cada

peça és pròpia d'un model de cotxe concret i els magatzems es troben propers a les línies de muntatge a les que subministren. Cada línia de muntatge és responsable d'un model de cotxe.

Així les rutes a automatitzar són:

- De Premses al Taller 6
- De Premses al Taller 15
- De premses al Taller 6 i 15

Considerant diferents aspectes: trànsit dins la fàbrica, ample dels carrers exteriors i facilitat de ruta; hem establert les tres rutes que l'AGV hauria de realitzar. Les tres tenen el mateix inici i final, que és Premses. En aquesta primera consideració cada ruta representa un únic bucle, però depenent de la proposta els bucles poden modificar-se com es veu més endavant. Llavors, a partir d'aquí, s'han descrit les diferents rutes que estan representades en els següents plànols.

Els tres bucles o rutes son bucles únics i unidireccionals a excepció d'un tram i la rotonda. El tram bidireccional facilita l'enrutament, ja que es redueix el bucle. D'altra banda aquest tram és bidireccional perquè aquest carrer en la fàbrica ja permet actualment la circulació en els dos sentits. D'altra banda, la rotonda haurà de disposar d'un sistema de semàfors per garantir una circulació segura. Les diferents rutes o l'enrutament queda doncs definit d'aquesta manera:

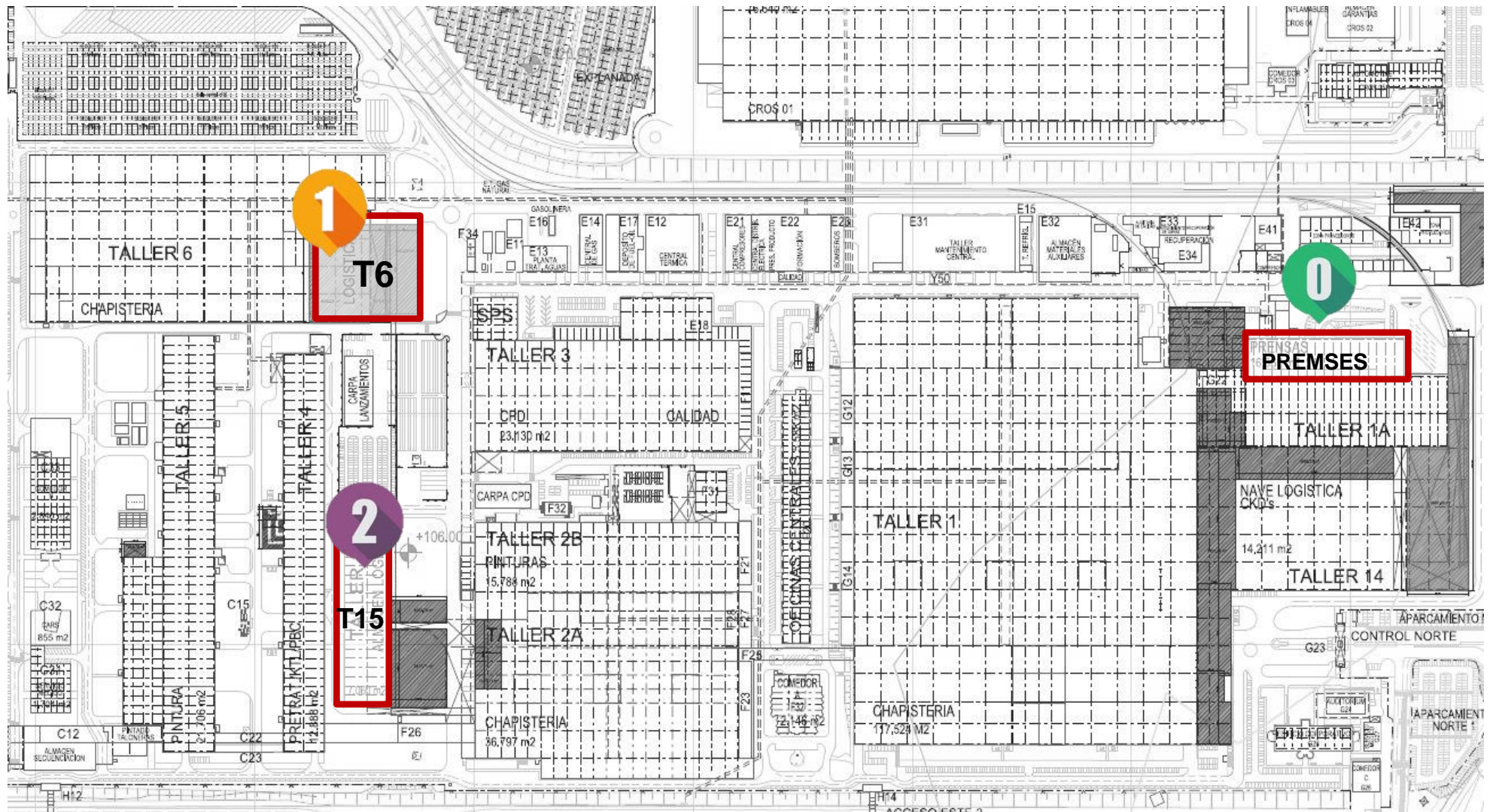


Figura 3.2.1 Distribució dels punts destacats en el procés logístic en la fàbrica SEAT

Ruta 1: De Premses a Taller 6

Distància a recórrer: 1.95Km

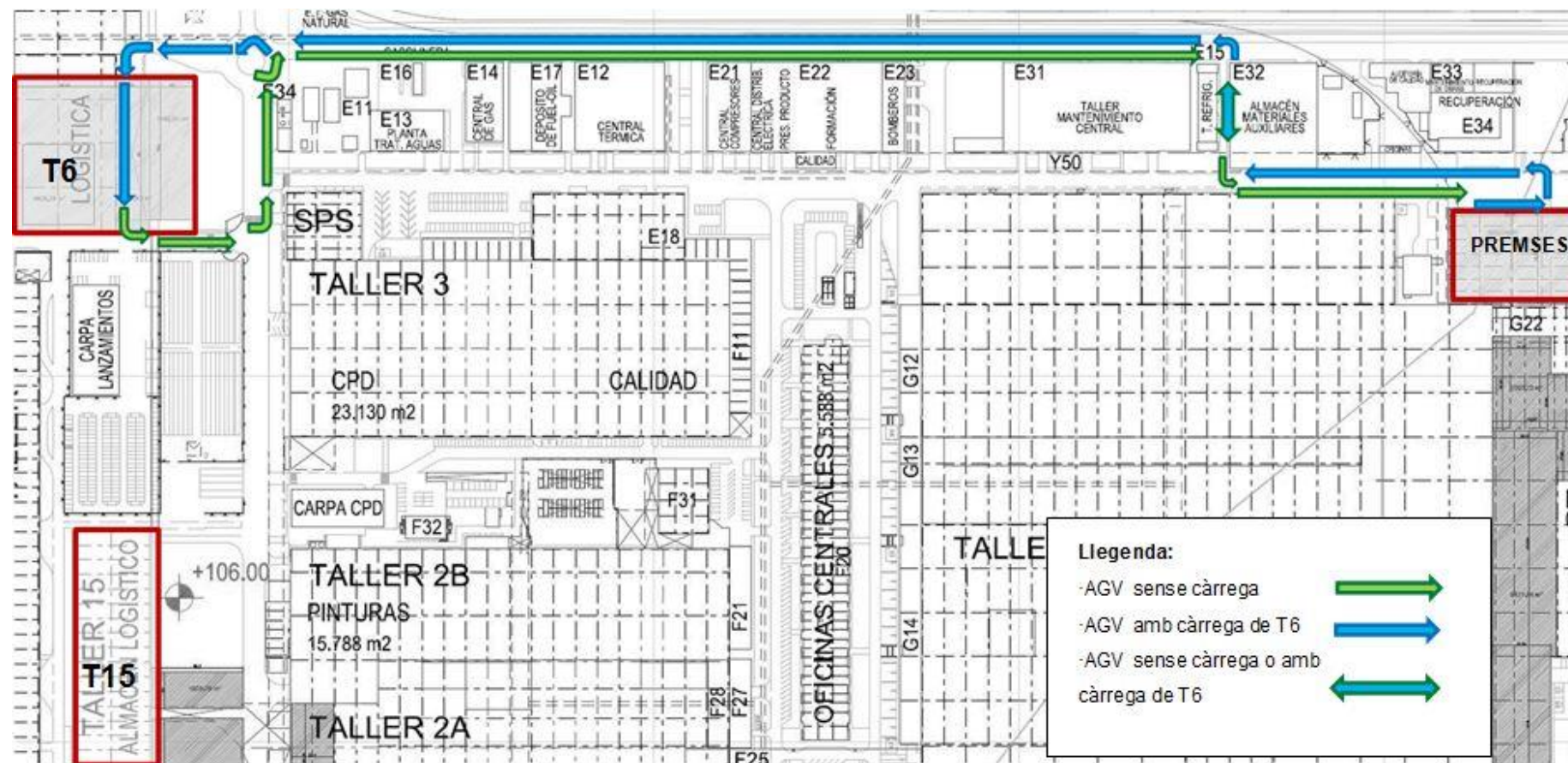


Figura 3.2.2 Ruta 1 en la fàbrica SEAT

Ruta 2: De Premses a Taller 15

Distància a recórrer: 2.32 Km

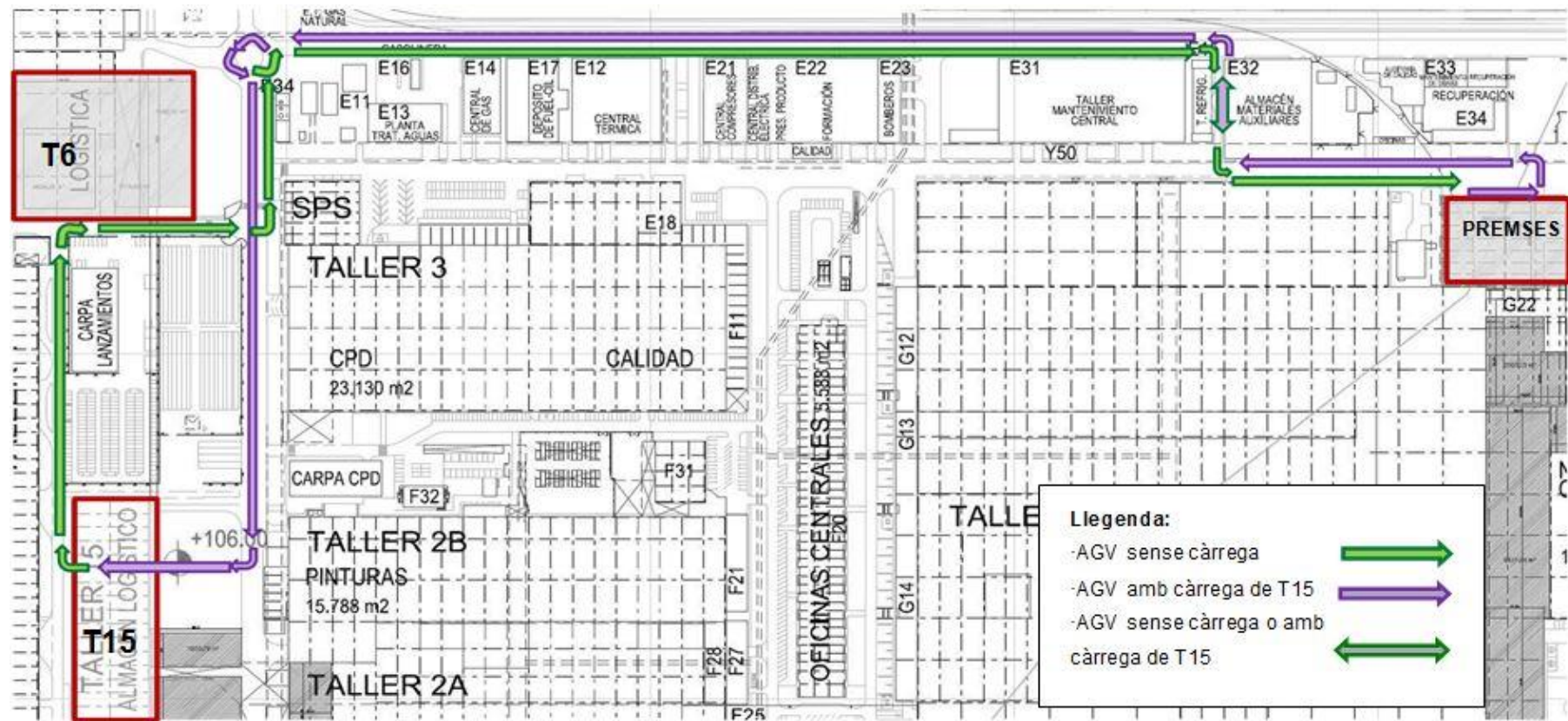


Figura 3.2.3 Ruta 2 en la fàbrica SEAT

Ruta 3: De Premses a Taller 6 i Taller 15

Distància a recórrer: 2.4 Km

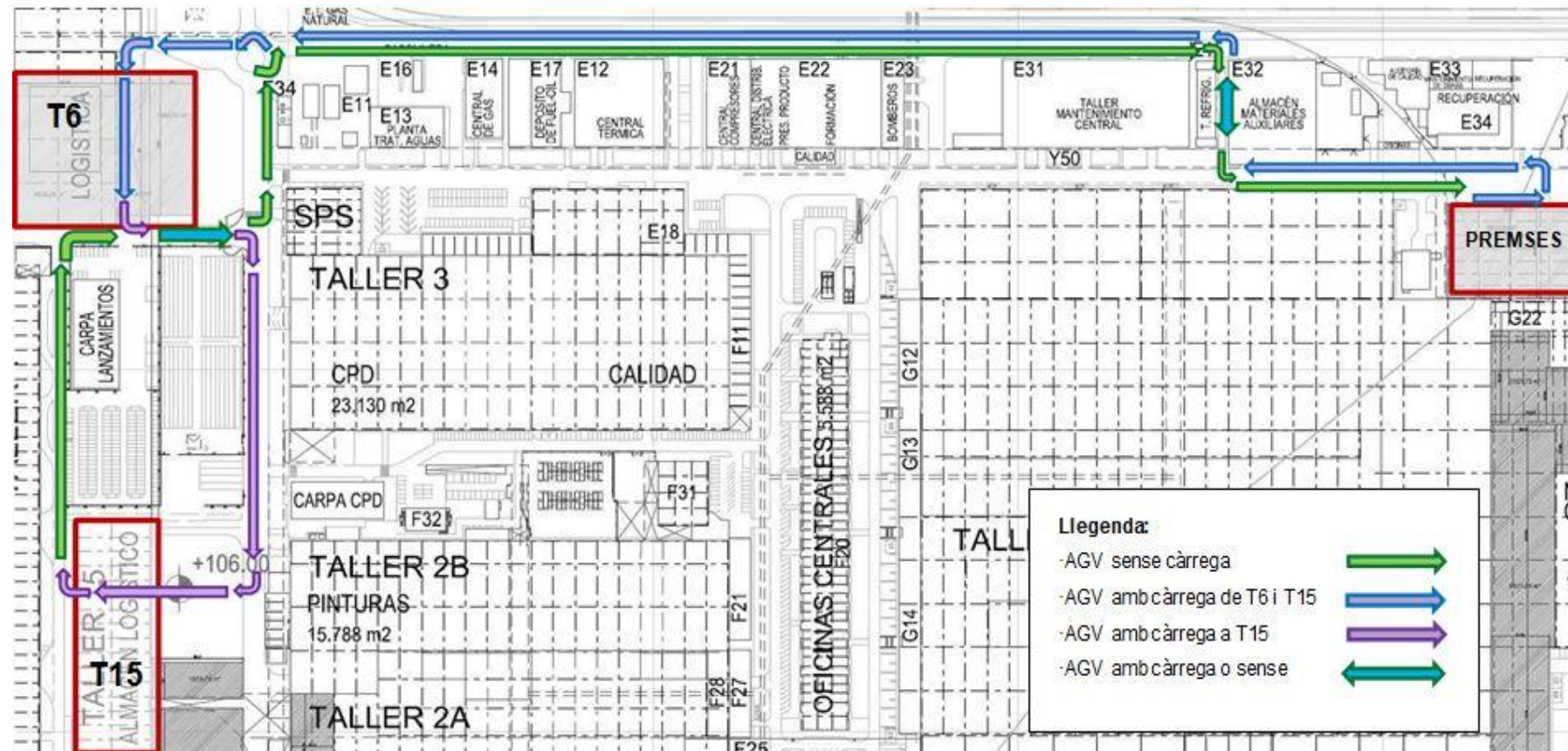


Figura 3.2.3 Ruta 3 en la fàbrica SEAT

Procés actual a automatitzar

Per tal de fer un valoració òptima, cal tenir en compte quants viatges es realitzen actualment. Hem pres el valor mitjà, ja que la variació és en casos excepcionals i mai es dona que en les tres rutes s'hagin de fer més viatges. En el cas excepcional en què s'haguessin de fer significativament més viatges, l'AGV es conduiria manualment permetent fer més viatges ja que la seva velocitat màxima a la que pot circular augmenta si el vehicle està conduït per una persona. D'altra banda es pren el valor de la mitjana de viatges per torn, cada torn són 8 hores. Així, la mitjana de viatges per torn en l'actualitat és la següent:

- De Premses al Taller 6: 8 viatges per torn
- De Premses al Taller 15: 4 viatges per torn
- De Premses al Taller 6 i 15: 2 viatges per torn

Per una altra costat, cal tenir en compte les distàncies i el temps que trigaria l'AGV en realitzar les rutes per poder determinar el nombre de vehicles en el sistema. Així, tenint en compte la velocitat a la que li està permès a l'AGV circular per exteriors, que és de 1 m/s o 3,6 Km/h i les altres dades, podem determinar la viabilitat de l'automatització del procés.

Opció 1 d'enrutament:

Com a primera opció, veurem si es possible automatitzar el procés amb un únic AGV. En aquesta opció un vehicle recorreria tot el recorregut de cada ruta, les rutes serien bucles únics d'un únic sentit, a excepció d'algun tram. Per tant per a un AGV, la taula següent resumeix les dades de les rutes:

Ruta	Distància	Duració ruta	Viatges per torn	Temps empleat en cada torn
De Premses a T6	1.95 Km	0.542 h	8	4.336 h
De Premses a T15	2.32 Km	0.645 h	2	1.29 h
De Premses a T6 i T15	2.4 Km	0.667 h	4	2.668 h
Velocitat AGV: 3.6 Km/s			Total temps en torn	8.294 h

Com es pot observar en la taula, amb un únic AGV es trigarien més de 8 hores a realitzar els viatges necessaris a cada taller en l'actualitat i sense tenir en compte els temps de càrrega i descàrrega necessaris. Per tant, tenint en compte que un torn normal dura 8 hores, aquesta opció queda descartada perquè no compleix amb els temps.

En algun cas, on els viatges es poguessin comunitzar, i per tant, s'haguessin de realitzar menys viatges complets, aquesta opció podria ser viable. D'altra banda, posar més

vehicles en aquest circuit és complicat ja que al ser tres rutes de diferents distàncies i on pràcticament la meitat dels trams són compartits, les interferències entre vehicles poden ser habituals i el *timing* és complicat d'organitzar.

Opció 2 d'enrutament:

Aquesta opció contempla tenir dos vehicles funcionant al mateix temps. A més, no es tracta d'un recorregut de bucle únic, en aquesta opció es descriu un sistema tàndem amb dos bucles únics. Un dels requisits per a un sistema tàndem és la creació d'una zona comuna. El primer bucle seria des de premses a la zona comuna i el segon des de la zona comuna als Tallers T6 i T15.

La zona comuna proposta està propera a la rotonda. Simplement serien dos carrils connectats entre si, per on l'AGV del primer bucle entraria des de la rotonda i deixaria la càrrega abans de prendre la rotonda altre vegada. Després el segona vehicle tornaria a prendre la càrrega per fer-la circular a través del segon bucle. Els carrils disposarien de rails o guies per tal de què el rest de carros o combois quedessin rectes i ben col·locats en els carrils.

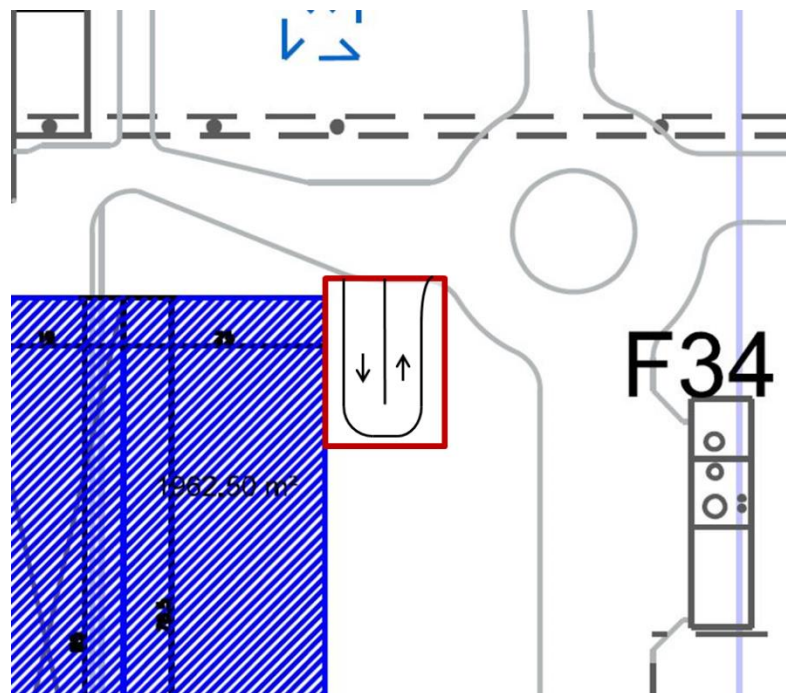


Figura 3.2.4 Dibuix representatiu de la zona comuna en el sistema tàndem

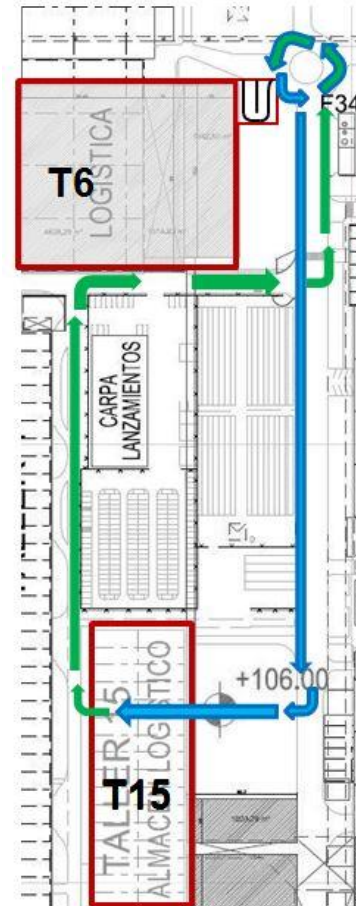
Opció 2: Sistema tàndem

Distància Bucle 2 (T6): 0.35 Km.



Figura 3.2.5 Sistema tàndem: Bucle 2

Distància Bucle 3 (T15): 0.72 Km.



Llegenda:

- AGV sense càrrega
- AGV amb càrrega
- AGV sense càrrega o amb càrrega

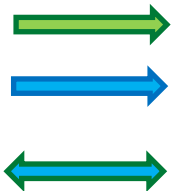


Figura 3.2.6 Sistema tàndem: Bucle 3

En un sistema tàndem pur, els dos bucles no tenen cap tram compartit. En aquesta proposta sí que tenen un tram compartit que és la rotonda. De totes maneres, tal com està descrit el procés, aquests vehicles mai es perjudicarien entre ells perquè no coincideixen cap moment en el mateix punt que no sigui la zona comuna.

Per calcular els temps en cada torn, només es tindrà en compte el bucle 1. Això es deu a què la distància entre premses i la zona comuna és d'0,8. Km, la mateixa distància que l'opció més llarga del bucle 2, és a dir, de la zona comuna a T6 i a T15. Per tant, quan el vehicle del bucle deixa la càrrega a la zona comuna, torna cap a premses a buscar una altra càrrega i torna a la zona comuna altra vegada realitza dues vegades la distància de 0.8 Km. Això dóna el doble de temps al vehicle del bucle 2 a realitzar el seu recorregut més llarg, ja que ambdós vehicles circulen a la mateixa velocitat. En definitiva, el bucle 1 determina els temps empleats en el transport de la càrrega. Per a un sistema tàndem amb dos AGV, la taula següent resumeix les dades de les rutes:

Ruta	Distància	Duració ruta	Viatges per torn	Temps empleat en cada torn
Bucle 1	1.6 Km	0.445 h	14	6.222 h
Velocitat AGV: 3.6 Km/s				

El temps empleat en la realització dels viatges entra dins del nombre de hores de cada torn que són 8 hores. Per tant, és una opció viable. Si suposem que es necessiten de mitja 3 minuts per carregar i 3 més per descarregar el material, calcularem si aquesta proposta continua sent assequible a partir del temps de cicle d'entrega (T_c):

$$T_c = T_L + T_u + \frac{L}{v} \quad (\text{Eq. 3.2.1})$$

T_L = Temps de càrrega

T_u = Temps de descàrrega

L = Distància ruta

v = Velocitat

En el cas del bucle 1, només es faria una parada:

Ruta	Distància	Tc	Viatges per torn	Tc per torn
Bucle 1	1.6 Km	$0.445 + 0.1 = 0.454$ h	14	7.63 h
Velocitat AGV: 3.6 Km/s	Temps càrrega i descàrrega = 6 min = 0.1 h			

En el cas de l'altre bucle, agafem el bucle més llarg (Bucle 4), que té dues parades ja que passa per dos tallers:

Ruta	Distància	Tc	Temps màxim en cada bucle
Bucle 4	0.8 Km	$0.222 + 0.2 = 0.422$ h	0.454 h
Velocitat AGV: 3.6 Km/s	Temps càrrega i descàrrega = 12 min = 0.2 h		

En ambdós casos es compleixen els temps i a més resta una mica de temps per alguna possible incidència. Tenint en compte els resultats, aquesta esdevé la proposta escollida per al projecte.

3.3 Tipus de guiatge

El tipus de guiatge és un dels factors més importants del projecte, per això cal concretar molts aspectes a l'hora de determinar-lo. Els factors més importants que influeixen en aquest projecte són:

- **Circuit exterior:** El recorregut o trajectòria seran a l'aire lliure, per tant, hem de pensar un guiatge que es vegi el menys afectat per canvis i condicions climàtiques. També cal entendre la viabilitat de certs sensors en funció de l'ambient.
- **Tipus de trajectòria i distàncies:** Les trajectòries del projecte són bucles o cíclics i estan determinades, això no permet improvisació a l'AGV ni li permet deixar la ruta en cap moment. D'altra banda, les distàncies de les trajectòries són considerablement grans i certs guiatges no estan adequats a aquest factor.
- **Cost econòmic:** Com és un projecte empresarial, el cost econòmic és vital per a la realització del projecte. La relació tecnologia-cost s'ha d'optimitzar al màxim.

El resum de la viabilitat dels diversos tipus de guiatge és el següent:

Tipus guiatge	Cost d'inversió	Ús en exteriors	Inconvenients
<i>Guiatge per cable</i>	Molt alt	Apte	<ul style="list-style-type: none"> · No és òptim per a recorreguts llargs · Necessitat d'obra civil
<i>Guia inercial i seguiment de trajectòria</i>	Baix	Apte	<ul style="list-style-type: none"> · Com més llarga és la trajectòria, més acumulació d'errors · Necessitat de punts per a autocorrecció
<i>Guia infrarroja, òptica làser</i>	Baix	No apte	X
<i>Cubs reflectors</i>	Baix	No apte	X
<i>Guiatge cinta reflexiva, magnètica, amb codis</i>	Baix	No apte	X
<i>Guiatge amb RFID, GPS, GPRS</i>	Baix	Apte	<ul style="list-style-type: none"> · Com més llarga és la trajectòria, més acumulació d'errors · Necessitat de punts per a autocorrecció · Necessitat de sensors
<i>Guiatge amb GPRS o WiFi</i>	Alt	Apte	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia en desenvolupament · Recorregut massa llarg per a garantir connexió amb WiFi

Els sistemes no aptes es deuen a la no fiabilitats dels sensors de treballar a l'aire lliure, per exemple els làsers i infrarojos poden veure's afectats per la llum solar o el pols. En el cas de les cintes reflexives o magnètiques i codis, apart del factor dels sensors en ambient exterior, no són aptes ja que com les distàncies són tan grans i altres vehicles comparteixen ruta amb l'AGV, assegurar el manteniment de les cintes al llarg de tota la trajectòria és inviable.

Guitatge escollit: GPS i RFID

Tenint en compte els diferents factors, el sistema escollit per a aquest projecte serà una combinació de guiatge amb GPS i RFID. Bàsicament l'AGV seguirà una ruta establerta per unes coordenades. Com el seguiment de coordenades pot portar a acumulació d'errors quan la ruta és considerablement llarga, usarem el guiatge RFID per tal de crear diferents punts d'autocorrecció. El guiatge RFID segueix les balises o TAGs per anar seguint la trajectòria. Així en les zones conflictives, com rotondes i viratges, o cada certa distància posarem TAGs o balises com a elements de control de ruta.

Com a sistema és un dels més econòmics del mercat, ja que la infraestructura necessària és mínima. A més, tot i que cal col·locar elements de control al llarg de tota la ruta, els TAGs són realment barats i fàcils de manipular tant físicament com en programació. Per tant, aporten una gran adaptabilitat i modificacions en la ruta. En el projecte s'utilitzaran els TAGs, ja que són barats i petits i no ens cal un intercanvi molt gran d'informació entre l'AGV i aquests. Apart dels TAGs, també es requeriran balises per a punts importants com poden ser semàfors o barreres.

Per tal de donar més fiabilitat al sistema GPS, la ruta primer es realitzarà manualment. Un operari ha de realitzar la ruta amb l'AGV per tal de què aquest enregistri les coordenades de tota la trajectòria. Aquestes coordenades són les que després anirà seguint amb l'ajuda dels TAGs. D'altra banda, el vehicle utilitzarà el sistema RFID com a sistema d'identificació, apart de com a sistema d'autocorrecció, per conèixer la posició real de les estacions o determinades accions a realitzar al llarg de la ruta. Aquest sistema es compon d'un antena lectora ubicada sota l'AGV i una sèrie de TAGs o balises ubicats en els llocs estratègics. Qual el robot identifica un TAG o una balisa, executa l'acció programada. Algunes de les accions disponibles són:

- Augment o reducció de velocitat
- Escollir una direcció
- Parada de l'AGV. Pot ser temporal, total o d'espera fins que un operari premi el botó adequat o es rebí un senyal d'arrencada.
- Activar un senyal sonor o visual
- Etc.

3.4 L'AGV

En aquest apartat es determinaran les diferents opcions disponibles per a la elecció de l'AGV que realitzarà el procés. Es tindran en compte les necessitats de càrrega i funcionalitat, especificacions tècniques i requeriments per a la circulació.

Actualment el procés es realitza mitjançant un tractor de 25tn conduït per un operari. L'objectiu és substituir el tractor manual per un AGV pet tal d'automatitzar el flux logístic. El procés serà el següent:

L'AGV esperarà a ser carregat amb peces en la marquesina de Premses, simplement se li enganxarà el rest de carros corresponent. Un cop carregat, l'operari l'indicarà que l'autòmat pot començar amb el moviment del primer bucle, per a això premerà un botó o un altre dispositiu.

Un cop l'AGV arribi a la zona comuna, els operaris canviaran el rest d'un vehicle a l'altre. Llavors el segon AGV realitzarà el segon bucle amb el rest carregat i el primer tornarà altre cop al seu bucle amb un rest buit de material. El segon AGV passarà per els tallers que calguin, T6 i/o T15, i parará en aquell que hagi de descarregar. La descàrrega la realitzaran els operaris de cada taller. Finalment, tornarà a la zona comuna. Cada cop que s'hagi acabat de fer una descàrrega, un operari premerà un botó o un altre dispositiu per indicar al robot que pot continuar amb la ruta,

Tractor

A l'hora d'escollir el tractor AGV per moure la càrrega es tenen les següents opcions:

- Automatitzar el tractor actual amb capacitat per moure 25tn.
- Emprar un AGV més petit i incorporar-li els elements necessaris. En concret el model CM 10000 de CMAYOR amb capacitat per moure 10tn.
- ❖ Proposta 1: Tractor de 25tn

Una de les opcions seria, si és possible, automatitzar el tractor actual de 25tn. Aquesta operació presenta les següents avantatges i desavantatges:

➤ Avantatges

- Actualment SEAT ja disposa de la màquina en ús i per tant té experiència en el seu funcionament i manteniment.

➤ Desavantatges

- Alt cost d'automatitzar la màquina en temps i diners
- Riscos per problemes elèctrics i mecànics al no emprar un producte AGV estàndard qual funcionament ja ha estat contrastat en altres aplicacions.

- Riscos de seguretat per la gran mida de la tractors.
- Riscos de seguretat per combois molt llargs. Risc d'atropellar o atrapar persones en les zones entre carros.
- Riscos de seguretat per a l'elevat pes a transportar. L'elevada inèrcia del comboi fa que es requereixi major distància de frenada. Per evitar aquest problema el vehicle hauria de circular a velocitats molt lentes.

Com es pot veure, degut al gran nombre de desavantatges relacionats amb la seguretat aquesta opció queda totalment desaconsellada i pràcticament descartada.

❖ Proposta 2: CM 10000 de CMAYOR adaptada

Aquesta segona proposta és l'escollida per a aquest projecte. Les diferents característiques pròpies del tractor són:

Especificacions tècniques:

- Màquina base: CM 10000 de CMAYOR.

Dimensions: Longitud = 1730mm. Amplada = 970mm. Alçada = 1970mm.



Figura 3.4.1 Imatges de la tractors CM 10000 (Font: CMAYOR)

- Capacitat d'arrossegament: La capacitat d'arrossegament d'aquest model és de 10tn. Es creu que amb els nous carros i tenint en compte els contenidors, aquesta capacitat serà suficient. Igualment, aquest model té variants amb capacitat de càrrega de 15tn i 25tn, però cal tenir en compte que com més capacitat de càrrega té, més pesa el vehicle.

- Velocitat màxima: Configurable des d'1,7 a 100m/min.
- Tracció i direcció elèctriques. El sistema de control de tracció i direcció és a través d'una targeta PID amb sistema de doble microprocessador i triple supervisió de funcionament.
- Displays informatius sobre anomalies, emergències, bateria, etc. Pilots lluminosos indicadors d'estat
- Seguretat incorporada de sèrie:
 - Selector manual / automàtic / semi manual
 - Escàner làser d'obstacles en la direcció d'avanç.
 - Sèrie d'interruptor de seient (inhabilita el funcionament al detectar conductor en mode automàtic).
 - Quatre polsadors de parada d'emergència per a conducció AGV (automàtic) situats dos en un lateral i dos altres a l'altre lateral, i una parada d'emergència per a conducció manual.
 - Senyalització de situació mitjançant dispositius propis i so intermitent.
 - Senyalització d'ALERTA mitjançant dispositius propis i so intermitent.
- Bateria des de 48V 270Ah. a 80V 775Ah. fet que proporciona una gran autonomia. El carregador és automàtic.
- Sistema de configuració: Centraleta digital amb comunicacions GPRS integrades, ràdio RF o WiFi. Connexió a sistema de gestió centralitzat per a la configuració i seguiment des d'entorn web. Selector de rutes.

Tenint en compte les característiques de sèrie que disposa aquesta tractora, podem veure que les necessitats de càrrega i velocitat es compleixen. Ara nombrarem les necessitats que requeriria per adaptar-la a aquest projecte:

- Preparació per a exteriors: Tots els components electromecànics hauran d'estar correctament impermeabilitzats o aïllats.
- Enganxament/denganxament dels combois: Per tal d'augmentar l'automatització del procés, el enganxament dels vagons es pot realitzar de forma automàtica mitjançant un boló d'elevació/descens. L'enganxament es realitzarà de forma automàtica. Aquesta opció només es permet si es porta un comboi, sinó el vehicle i combois han de ser solidaris i mai es poden enganxar.
- Sistema de seguretat làser per a exteriors (una unitat): Tot i que de sèrie el tractor porta un detector làser, aquest únicament és per interiors. Per això és necessari canviar-lo per un altre tant apte com per interiors i exteriors. El sistema de seguretat làser escollit, el MRS1000 de SICK, detecta qualsevol

obstacle dintre del seu rang de detecció però filtra els senyals de pluja, pols i boira. En condicions realment extremes l'AGV es detindrà del tot.



Figura 3.4.2 Làser MRS1000 (Font: SICK)

El làser es situarà prop del sòl, ja que apart de detectar obstacles aquest dispositiu aporta altres funcions com: ajuda en el posicionament del vehicle i suport en la navegació aportant dades en diverses dimensions sobre la ruta.

- PLC de seguretat *SICK*: La normativa europea exigeix que els camps del làser de seguretat commutin en funció de la informació real. Tècnicament es coneix com Safety Counting a aquesta funcionalitat. Aquesta funcionalitat implica complir amb un esquema d'aquest tipus per a un AGV:

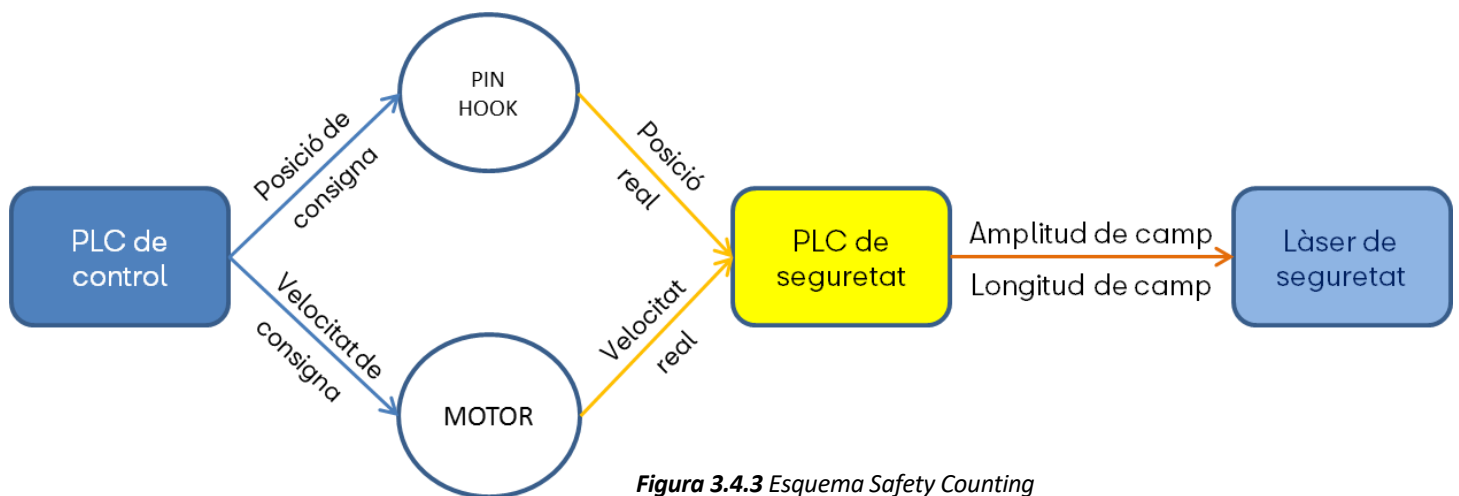


Figura 3.4.3 Esquema Safety Counting

El sistema de seguretat del vehicle ha de prendre mesures reals i redundants de la velocitat del autòmat i de la posició en què es troba l'enganxament d'aquest (en cas de què tingui).

El sistema funciona així:

1. El PLC de seguretat rep la lectura de la velocitat real dels motors. Això el permet escollir la longitud del camp de seguretat de l'AGV.
2. El PLC de seguretat rep la lectura de la posició real de l'enganxament. Això li permet escollir l'amplada del camp: estret (mateixa amplada que l'AGV) o ample (amplada del carro remolcat)

3. A partir d'aquestes dues decisions , els PLC se seguretat té uns camps amb unes amplades i unes longituds definides que commuten amb seguretat.

- Radars per a detecció d'obstacles en alçada: Com el detector làser estarà proper al sòl, caldrà implantar sensors radars per tal de detectar obstacles a alçada com semàfors, tanques o portes. Apart, els radars funcionen sota adversitats climàtiques també. El dispositiu escollit és el Q240RA-AF2 de *Banner*, ja que les seves distàncies de detecció i funcionalitat són les requerides. Es col·locaran tres al davant i un al darrere.



Figura 3.4.4 Radar Q240RA-AF2 (Font: BANNER)

- Sistema GPS: Caldrà acoblar un sistema GPS que li permeti anar detectant les coordenades a mesura que el vehicle va avançant. L'antena GPS escollida per a aquest projecte és el model JCA204 de *Jinchang Electron*.



Figura 3.4.5 Antena GPS JCA204 (Font: Jinchang Electron)

- Antena RFID per a la detecció dels diferents TAGs, balises i comunicació amb operaris. L'antena escollida és la ID ISC.ANT.U270/270-EU, una antena estàndard i bàsica de *FEIG ELECTRONIC*, que compleix amb els requeriments.



Figura 3.4.6 Antena RFID ID ISC.ANT.U270/270-EU (Font: FEIG ELECTRONIC)

Sistema de comunicació:

El sistema de comunicació escollit és el sistema de comunicació per radiofreqüència, així aprofitem la integració de l'antena RFID necessària per a la detecció dels TAGs i/o balises.

L'AGV disposa d'una ràdio que permet comunicar el vehicle amb altres dispositius externs amb l'objectiu de descentralitzar la comunicació per a:

- Interfases de validació d'operacions a través de l'usuari.
- Comunicació amb altres AGV: funcions com gestió de trànsit, escales de preferència, etc.
- Comunicació amb altres dispositius de la planta o ruta, robots, cèl·lules robotitzades, portes, barreres, semàfors, etc.

Carros o remolcs

El vehicle automàtic té la tasca de portar material d'un taller a un altre en aquest procés. Per tal de dur a terme aquest procés, l'AGV haurà de remolcar un més carros en cada trajecte. És molt important tenir en compte la física dels carros en temàtica de viratges i desplaçaments. Segons l'estructura mecànica de la composició dels carros aquestes seguiran la trajectòria del seu remolcador, l'AGV en aquest cas, amb més o menys eficiència. Es presenten dos conceptes de carros per tal d'entendre millor el fenomen i escollir el tipus de carro ideal per a aquest projecte:

❖ 1r Concepte:

- Eix davanter solidari a la llança i mòbil
- Eix posterior fixe

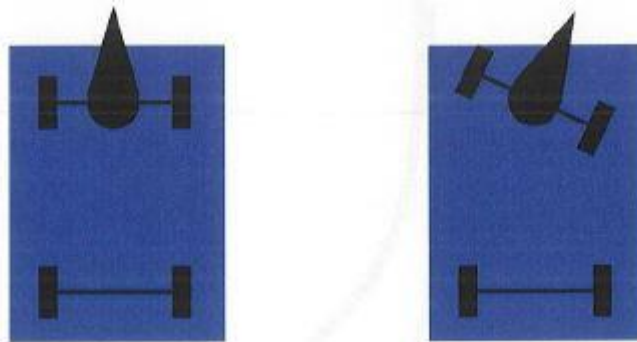


Figura 3.4.7 Dibuix concepte primer de carro

❖ 2n Concepte:

- Eix davanter solidari a la llança i mòbil
- Eix posterior mòbil i solidari connectat al eix davanter
- Limitadors mecànics en els punts assenyalats en vermell

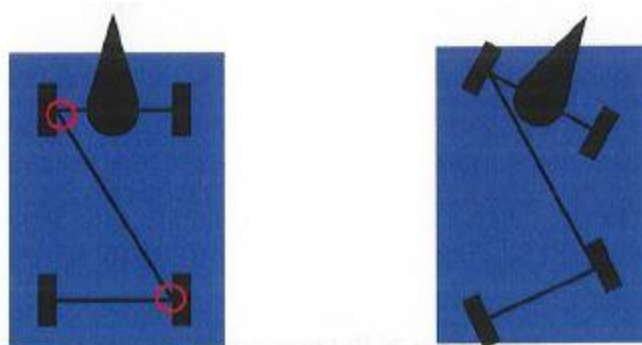


Figura 3.4.8 Dibuix concepte segon de carro

Tenint en compte el tipus de concepte de carro, observem el seu comportament a l'hora de seguir la trajectòria del remolcador:

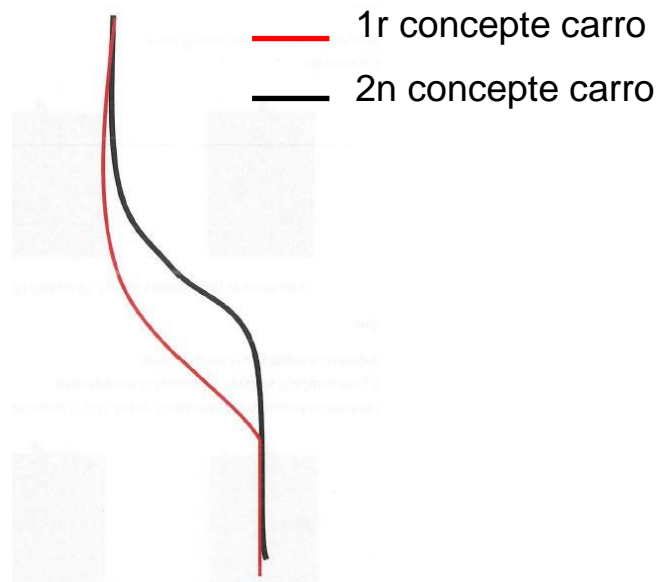


Figura 3.4.9 Representació del seguiment de trajectòria dels carros

En el dibuix de trajectòries, el remolcador seguiria la trajectòria marcada en color negre. Com es pot observar, el segon tipus de carro segueix exactament el mateix recorregut que segueix el remolcador. A més, amb aquest concepte, tots els carros seguiran la mateixa trajectòria independentment del nombre de carros.

D'altra banda, el primer tipus de carro no pot assegurar el seguiment constant. En un tren de carros els primers seguirien la trajectòria ideal, però els carros de les últimes posicions acabarien seguint la trajectòria pintada de color vermell.

D'aquesta manera, per a aquest projecte el tipus de carro ideal seria el del segon concepte. Tenint en compte que l'AGV, el remolcador, circularà per rutes on es pot trobar altre tipus de trànsit és molt important en termes de seguretat que els carros segueixin estrictament la trajectòria descrita. Així, per a aquest projecte s'escullen els carros amb sistema ACKERMAN, que són del segon concepte.



Figura 3.4.10 Carro amb sistema ACKERMAN

Sistema de seguretat carros:

Un important a tenir en compte és la seguretat entre carros per evitar atrapaments de persones o objectes entre els carros. També cal tenir en compte que al transportar càrregues pesades, les frenades podrien provocar xocs entre carros, desprendiments d'aquests etc.

Els sistemes de seguretat per als carros escollits són:

- Cintes o cadenes de seguretat entre carros: Ajuden a evitar el desprendiment del carro i l'entrada d'objectes o persones entre carros.
- Botoneres amb pulsadors d'emergències a cada carro: La botonera anirà connectada a la cadena de seguretat de l'AGV, és a dir, al PLC de seguretat. Permet la parada de tot el comboi des de qualsevol carro.
- *Bumpers* (para-xocs) de seguretat. Els *bumpers* es connectaran a la cadena de seguretat de l'AGV també. Evitaran el xoc directe entre els carros en parades brusques o accidents amb l'objectiu de minimitzar els danys possibles.

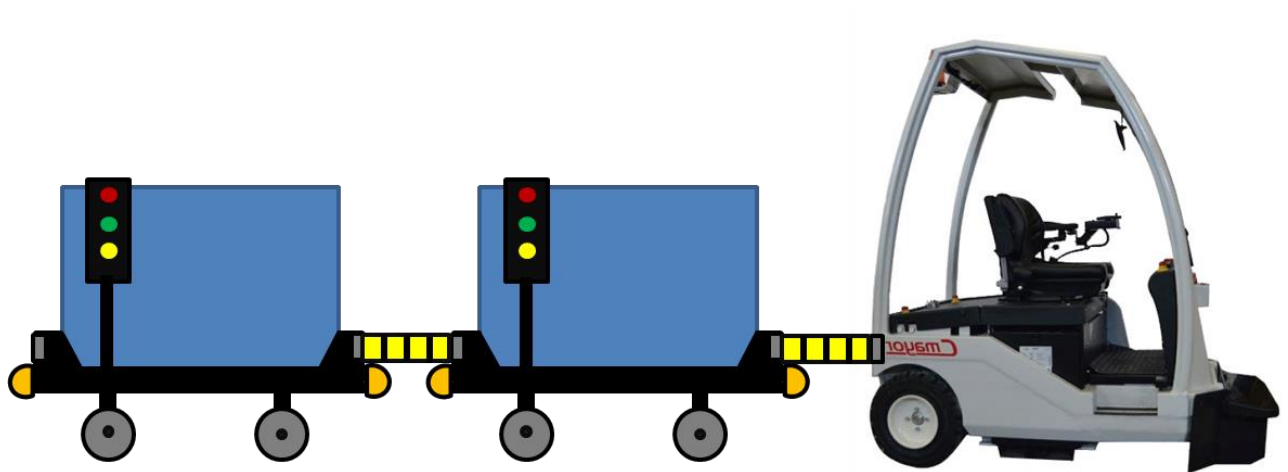


Figura 3.4.11 Sistema de seguretat entre carros proposat

3.5 Elements de seguretat vial

La seguretat vial s'encarrega de prevenir i/o minimitzar els danys i efectes que provoquen els accidents vials, el seu principal objectiu és salvaguardar la integritat física de les persones que transiten per la via pública i/o disminuint els factors de risc. En aquest projecte el vehicle automàtic circularà per els carrers exteriors de la fàbrica de SEAT a Martorell. D'aquesta manera, s'han de respectar les normatives de circulació pròpies de l'empresa, que en el cas de SEAT són les mateixes que el codi de circulació espanyol. Així, repassant el codi espanyol, es pot veure que en matèria de vehicles autònoms encara no n'hi ha una legislació forta. L'únic que podem trobar són uns permisos per tal de facilitar l'ús de prototips en ambients i contextos controlats. Per tant, tenint en compte això i la legislació vigent, els elements de seguretat vial proposats són:

- Indicació del camí de circulació de l'AGV: La indicació es realitza mitjançant bandes pintades en el sòl. A més es podrien posar senyals indicant el carril de l'autòmat.

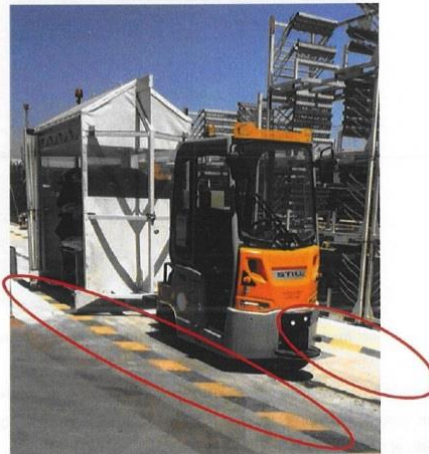


Figura 3.5.1 Exemple d'indicació de camí de circulació per a l'AGV (Font: ASTI)

- Sistema de semàfors: Caldrà instal·lar un sistema de semàfors per a l'AGV. En les interseccions i en la rotonda caldrà bloquejar la zona per tal de garantir una circulació segura. En principi, la prioritat de pas sempre serà per l'AGV però només circularà un cop la zona conflictiva està bloquejada. La comunicació entre semàfors i AGV serà mitjançant RFID.

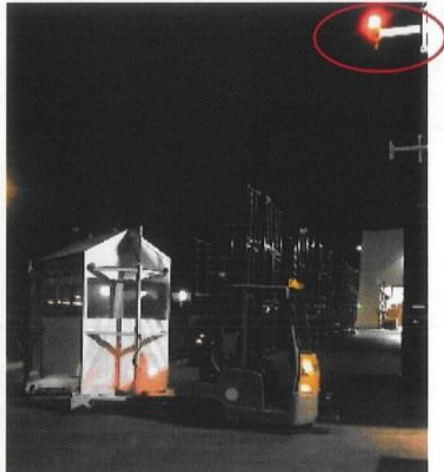


Figura 3.5.2 Exemple d'interacció entre AGV i un semàfor (Font: ASTI)

- Barreres: En zones altament conflictives, zones on hi hagi molt trànsit de camions per exemple, caldrà col·locar barreres per poder garantir el bloqueig segur de la zona de pas.

Prevenició de riscos laborals

La prevenció de riscos laborals és el conjunt d'activitats, mesures adaptades o previstes en totes les fases d'activitats de l'empresa amb la finalitat d'evitar o disminuir les possibilitats de què els treballadors pateixin danys derivats del treball, ja siguin aquests accidents, malalties, patologies o lesions.

Aquest projecte doncs, ha de complir amb unes mesures estipulades concretes. Les diferents normatives que el projecte i prototip han de complir són:

- UNE-EN ISO 13849-1, UNE-EN ISO 13849-2: Principis generals per al disseny.
- 2006/42/CE: Directiva de màquines.
- UNE-EN 1525: Seguretat de les carretes de mantenició. Carretes sense operador i els seus sistemes.
- Reial decret 1644/2008: Comercialització i posada en servei de les màquines.
- UNE-EN ISO 3691-4: Carretes de mantenició autopropulsades, diferents de les carretes sense conductor, carretes d'abast variable i carretes transportadores de càrrega.

3.6 Estudi econòmic de la implantació de la proposta AGV

Després de determinar tots els elements involucrats en la proposta d'AGV per a circuit exterior, farem un petit estudi sobre el cost aproximat que suposaria la implantació d'aquest. Així, els costos associats a un vehicle serien els següents:

Tractora CM 10000: 40.000 €

Radars Q240RA-AF2 (4 unitats per vehicle): 6.432 €

GPS JCA204: 100 €

Làser MRS1000: 3517 €

Antena RFID ID ISC.ANT.U270/270-EU: 197 €

PLC de seguretat: 100 €

Carro ACKERMAN: 2000 €

Botonera carro: 15 €

Bumpers carro (2 unitats per carro): 200 €

Cintes de seguretat entre carros: 50 €

TOTAL per un AGV: 49.094 €

Això és el que costaria aproximadament fer un AGV capaç de fer un circuit exterior i, a més, garantir que té els elements de seguretat bàsics. En la proposta d'aquest projecte s'utilitzen dos AGV, així que només en vehicles tindria un cost aproximat de casi 100.000 €. A tot això, encara caldria sumar-li costos en infraestructures, elements de seguretat vial, etc.

4. Prototip AGV circuit exterior

Aquest projecte es realitzava amb cooperació amb l'empresa SEAT. En un principi l'empresa desenvoluparia un prototip real, no a escala, però per diferents motius el projecte ha anat endarrerint-se. El fet d'haver de complir normatives especials, la gestió de la inversió econòmica i l'estudi de viabilitat juntament amb motius varis han allargat en gran part els terminis del projecte.

Tot i així, amb les capacitats i limitacions pròpies, s'ha realitzat un prototip a escala que simula principalment el tipus de guiatge de l'AGV en exteriors. Aquest prototip resta lluny del prototip real, però és adient per fer-se una idea.

L'objectiu del prototip és demostrar el tipus de guiatge escollit per al projecte real. En el projecte real, com s'ha comentat anteriorment, farà ús d'una combinació de tipus de guiatge. Principalment utilitzarà el sistema GPS, però com totes les rutes impliquen distàncies considerables també s'utilitzarà el sistema RFID amb TAGs per tal de col·locar elements o punts d'autocorrecció. Això és necessari ja que amb el sistema GPS trobem una acumulació d'errors, d'aquesta manera es pot corregir aquest problema. El prototip doncs serà capaç de realitzar una ruta autònomament seguint les coordenades GPS d'una trajectòria. Com la ruta a realitzar pel prototip no és llarga, no calen elements d'autocorrecció.

En resum, el prototip té l'objectiu primer d'enregistrar les coordenades d'una ruta i després realitzar aquesta ruta autònomament. L'enregistrament de la ruta és manual, és a dir, un usuari controlarà manualment el prototip a través de la ruta que aquest marqui. Després, amb les dades obtingudes, l'AGV serà capaç de recórrer la ruta per ell mateix sense la implicació de cap usuari.

Dins del prototip els apartats ha destacar són:

- Explicació del conceptes relacionats amb el tipus de guiatge emprat: GPS.
- Hardware prototip
- Aplicacions de control remot
- Implementació software del sistema

4.1 Conceptes relacionats amb el tipus de guiatge emprat: GPS

En l'apartat anterior s'ha determinat que el tipus de guiatge escollit per a aquest projecte és el de guiatge amb GPS. Per tant, repassarem els conceptes més importants per al disseny del prototip.

Per tal de poder navegar i seguir una trajectòria cal conèixer una sèrie d'aspectes:

- Localització: En quin punt et trobes i a quin punt has d'anar.
- Bearing: Orientació del punt on has d'anar.
- Heading: Orientació actual en el punt on et trobes.

Localització:

El guiatge GPS ens permet realitzar rutes mitjançant un sistema de coordenades. Un sistema de coordenades no és més que un conjunt de vectors i números sense sentit aparent. Per a què aquests valors prenguin un significat, és necessari relacionar-los amb una referència coneguda. Existeixen diversos sistemes de coordenades fonamentals. Normalment aquests sistemes són ortogonals, dextrogirs i cartesianes. Únicament difereixen en l'origen, la orientació relativa dels seus eixos i el moviment relatiu entre els seus plans.

Les coordenades geogràfiques permeten determinar la posició de cada punt a la Terra mitjançant tres coordenades, utilitzen un sistema de coordenades esfèriques. Aquestes tres coordenades són la latitud, longitud i altitud:

- Latitud: Distància angular entre una localització terrestre i l'equador.
- Longitud: Distància angular entre una localització terrestre i el Meridià de Greenwich.
- Altitud: Distància vertical d'un objecte respecte d'un punt d'origen donat.

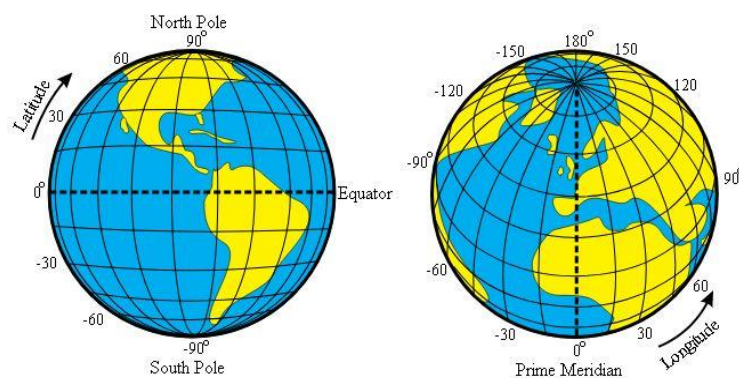


Figura 4.1.1 Dibuix representatiu de latitud i longitud (Font: Vikidia)

Els GPS ens permeten obtenir aquestes tres coordenades del punt on es troba el dispositiu. En el nostre projecte utilitzarem només latitud i longitud, ja que no farem canvis d'altitud considerables. Per tant, amb el GPS podem saber els punts de la trajectòria i el punt on ens trobem en l'actualitat.

Bearing:

Tenint en compte dues coordenades A i B, el *bearing* és l'angle, en el sentit de les agulles del rellotge, entre el Nord geogràfic fins la posició B, on el vèrtex de l'angle és en la posició A.

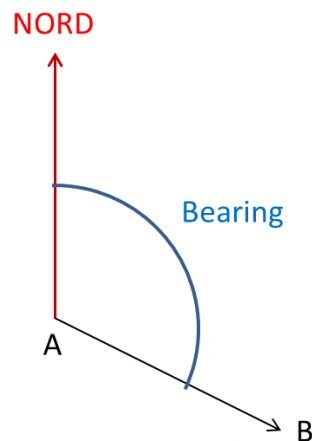


Figura 4.1.2 Dibuix representatiu bearing

Amb el *bearing*, llavors, podem saber la orientació a la que hem d'estar per tal d'anar d'un punt a un altre en línia recta, que seria la distància més curta.

La fórmula per calcular el *bearing* (θ) és:

$$\theta = \text{atan2}(\sin(\lambda_2 - \lambda_1) \cdot \cos\varphi_2, \cos\varphi_1 \cdot \sin\varphi_2 - \sin\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1))$$

(Eq. 4.1.1)

$$\varphi_1 = \text{Latitud punt A} \quad \varphi_2 = \text{Latitud punt B}$$

$$\lambda_1 = \text{Longitud punt A} \quad \lambda_2 = \text{Longitud punt B}$$

El *bearing* i les coordenades en sí ja ens donen el punt de referència que utilitzarem per orientar i guiar el robot, aquest punt de referència és el Nord geogràfic.

Heading:

En el nostre cas, el *heading* és l'angle al que el prototip apunta en relació amb el Nord geogràfic.

Tenint en compte el *heading* i el *bearing*, també podem destacar el *bearing relatiu*, que és la diferència entre aquest dos angles.

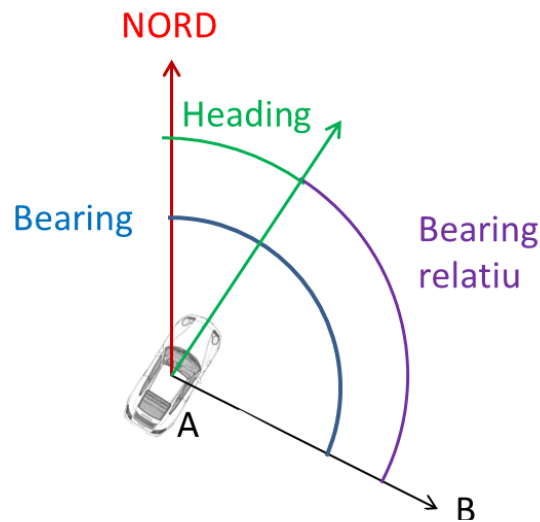


Figura 4.1.3 Dibuix representatiu heading

Per tal de poder calcular el *heading* del prototip cal utilitzar un magnetòmetre, ja que permet obtenir la orientació respecte el Nord magnètic. Aquest és un dels punts clau del prototip ja que sense aquest sensor, no és capaç d'orientar-se. Per a tot això, el robot tindrà un sistema de coordenades propi.

El sistema de coordenades serà el *Body*. Aquest sistema té el seu origen en el centre de masses del vehicle. Típicament usat en plataformes *Strapdown*, és a dir, quan els sensors tenen també com centre de masses el vehicle i els seus eixos es mouen amb ell.

Per tal de relacionar ambdós sistemes de coordenades, coordenades geogràfiques i coordenades *Body*, utilitzarem els angles de Euler. Aquest mètode ens permet especificar la orientació angular d'un sistema de coordenades respecte a un altre. Els angles de Euler defineixen el canvi d'un sistema a un altre mitjançant una successió ordenada de girs de tres angles. Aquests tres angles anomenats *roll*, *pitch* i *yaw*, s'utilitzen en navegació per especificar l'actitud d'un mòbil.

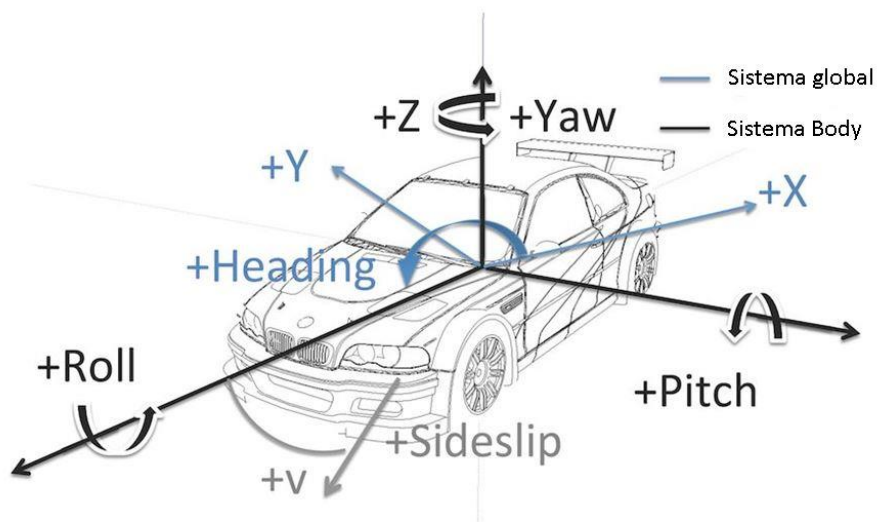


Figura 4.1.4 Dibuix representatiu Angles Euler (Font: Harry Hickman)

En el nostre projecte el *yaw* representa el *heading*. Obtenint el *yaw*, l'AGV pot saber cap a on està orientat i així, en el cas de trobar-se en un angle diferent al *bearing*, calcularà la diferència de l'angle i girarà per situar-se en l'orientació correcta.

4.2 Hardware Prototip

El prototip es realitzarà a partir d'elements Arduino, degut a la seva facilitat de programació i connexions. Arduino és una plataforma de hardware lliure, fet que permet que tant el seu disseny com distribució es puguin utilitzar lliurement per al desenvolupament de qualsevol tipus de projecte sense haver d'adquirir cap llicència. La plataforma Arduino té un llenguatge propi que està basat en C/C++ i per això suporta les funcions estàndards C i algunes de C++.

Els diferents elements emprats en la elaboració d'aquest prototip són:

- **Elegoo MEGA 2560 R3:** Aquesta placa ha estat dissenyada per l'empresa Elegoo, és una placa compatible amb els elements Arduino i és on acoblarem els diferents dispositius. És un processador que té com a funció manar executar accions als actuadors. La taula següent resumeix els seus components:

Microcontrolador	ATmega2560
Voltatge Operatiu	5 V
Voltatge d'entrada (recomanat)	7-12 V
Voltatge d'entrada (límits)	6-20 V
Pins digitals	54 (d'aquests 15 proporcionen sortida PWM)
Pins d'entrada analògica	16
Corrent continua sortida de 5V	40 mA
Corrent continua sortida de 3.3V	50 mA
Memòria flash	256 KB (ATmega328P)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocitat del rellotge	16 Mhz



Figura 4.2.1 Targeta ELEGOO 2560 R3

- **Mòdul Bluetooth HC06:** Es denomina Bluetooth al protocol de comunicacions dissenyat especialment per a dispositius de baix consum, que requereixen curt abast d'emissió i basats en transceptors de baix cost. Opera mitjançant un enllaç per radiofreqüència en la banda ISM dels 2.4 GHz. El seu ús és adequat quan poden haver dos o més dispositius en una àrea reduïda sense grans necessitats d'ample de banda.

En particular el mòdul Bluetooth HC06, l'emprat en el prototip, disposa de 4 pins. D'altra banda, només pot actuar com *slave*, és a dir, és capaç de rebre connexions però no de generar-les. En aquest projecte, farem servir el Bluetooth per comunicar el telèfon Android amb el vehicle i així poder-lo controlar remotament.



Figura 4.2.2 Mòdul Bluetooth HC06

- **Neuftech L298N Dual H Pont DC:** És un controlador (driver) de motors, que permet encendre i controlar dos motors de corrent continu des d'Arduino, variant tant la direcció com la velocitat de gir. Aquest controlador de motors és necessari ja que Arduino, i en general tots els autòmats, no disposen de potència suficient per moure actuadors.

En aquest prototip, el controlador es farà càrrec de quatre motors DC que estaran empalmats de dos en dos. Això es deu gràcies al baix consum d'aquests motors i que alimentarem aquest controlador amb una font d'alimentació diferent de la que alimenta la placa.



Figura 4.2.3 L298N Dual H Pont DC

- **Motors DC:** Un motor de corrent continu o, simplement motor continu o motor de CC, és una màquina elèctrica rotativa que transforma energia elèctrica en forma de corrent continu en energia mecànica mitjançant interaccions electromagnètiques. Pràcticament tots els motors elèctrics són reversibles, és a dir, poden transformar energia mecànica en energia elèctrica funcionant com a dinamos.

En aquest prototip usarem quatre motors DC, un per a cada roda. que seran controlats per el *driver* L298N. Els motors estaran empalmats dos a dos.



Figura 4.2.4 Motors DC

- **Mòdul Micro SD:** Un lector SD és un dispositiu que permet utilitzar com emmagatzematge una targeta SD, tant per enregistrar dades com per utilitzar-les per a diferents accions. Les memòries SD són les més emprades per a dispositius portàtils, per la seva gran capacitat i reduïda mida.

En el projecte necessitem una Micro SD per primer enregistrar les coordenades de la ruta i després utilitzar aquestes dades per al desplaçament autònom de l'AGV.



Figura 4.2.5 Mòdul micro SD

- **Mòdul GPS:** És un dispositiu que utilitza el sistema de posicionament global (GPS) per a determinar la localització exacta d'un vehicle, persona, o un altre actiu al que s'adjunta, permetent registrar la posició de l'actiu a intervals regulars.

Incorporarem aquest mòdul a l'AGV per tal d'enregistrar les coordenades de la ruta per la qual el farem recórrer remotament. Després, en el desplaçament autònom, avançarà comparant les coordenades enregistrades amb les que l'AGV va captant.



Figura 4.2.6 Mòdul GPS

- **Mòdul Ultrasònic HC-SR04:** Un sensor ultrasònic és un dispositiu per mesurar distàncies. El seu funcionament es basa en l'enviament d'un pols d'alta freqüència, no audible per l'ésser humà. Aquest pols rebota en els objectes propers i es reflexa cap al sensor, que disposa d'un micròfon adequat per a aquesta freqüència. Mesurant el temps entre polsos, coneixent la velocitat del so, podem estimar la distància de l'objecte contra l'impuls d'ultrasons va impactar.

Aquest sensor tindrà la finalitat de sistema de seguretat en l'AGV. Durant el desplaçament autònom, el vehicle ha de ser capaç d'evitar col·lisions amb objectes que es trobin envaint la seva ruta.



Figura 4.2.7 Mòdul HC-SR04

Per tal de poder acoblar el mòdul al prototip d'una manera adequada, s'ha dissenyat una peça que després s'ha imprès en 3D. (Annex C)

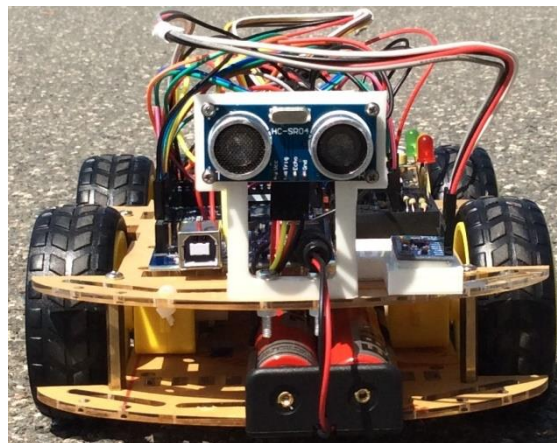


Figura 4.2.8 Acoblament del HC-SR04 al vehicle

- **Mòdul MPU-9250:** Sensor que incorpora integrat una IMU MPU-6500, que a la vegada està formada per un acceleròmetre de 3DOF, un giroscopi de 3DOF i un magnetòmetre AK8963 de 3DOF. A més, disposa d'un sensor de temperatura encastat, un rellotge d'alta precisió i interrupcions programables.



Figura 4.2.9 Mòdul MPU-9250

L'acceleròmetre és un dispositiu que mesura les acceleracions basant-se en la variació d'una capacítància en l'interior del xip. Es tracta d'un sistema microelectromecànic (MEMS) que suspèn partícules de silici, ancorades en un punt fix, que es mouen lliurement en un eix de mesurament. Quan una acceleració actua, tota aquesta massa de partícules es desplaça respecte a la seva posició d'origen i crea un desequilibri en la capacítància, que es mesura i dóna informació de l'acceleració que està actuant en aquell eix.

El giroscopi bàsicament transforma la força generada per un moviment angular en un senyal elèctric proporcional a aquest, d'aquesta manera es pot conèixer la velocitat de gir d'un mòbil, i per tant, la seva orientació. El giroscopi també és un MEMS. De manera molt resumida, per mitjà d'una estructura ressonant (microestructura) es mesura la força de Coriolis que apareix quan es gira, en forma de variacions en la ressonància. Aquesta variació és quantificada per una capacítància i processada per generar una sortida elèctrica que no sigui coneguda.

El magnetòmetre és un sensor que mesura la intensitat de camp magnètic. El camp es mesura emprant unes magneto-resistències que canvien el seu valor en funció del camp que les travessa en la seva direcció. Tenint en compte el camp magnètic terrestre i utilitzant les mesures en 3 eixos, es pot calcular l'orientació relativa d'un objecte.

En el projecte, la principal funció que ens interessa és la del magnetòmetre. És necessari per tal de calcular el grau que l'AGV ha de fer en cada gir o viratge.

- **Cablejat:** Un cable elèctric és un element conductor format per un conjunt variable de fils metàl·lics, generalment recoberts per un material aïllant o protector que té la com a finalitat el transport d'electricitat. En el projecte, els cables s'empraran per fer les connexions entre els diferents dispositius.
- **Alimentació:** Per tal de què el projecte funcioni, cal aportar-li l'energia necessària per a què funcioni. En el projecte s'ha decidit d'alimentar per una banda la placa UNO per una banda amb un parell de piles de liti 18650 i per una altra el controlador de motors L298N amb 6 piles AA de 1.5V. El motiu d'aquesta doble alimentació és l'objectiu de garantir suficient autonomia al robot per tal de què pugui arribar a realitzar un circuit més d'una vegada.

- **Xassís i rodes:** Per tal de sostenir tots els components s'ha escollit per al prototip un xassís bàsic simple i econòmic. S'ha optat per un producte que incloïa el xassís, quatre rodes, quatre motors DC i alguns cables.



Figura 4.2.10 Xassís amb rodes

Aquests són tots els elements que formen part del prototip:

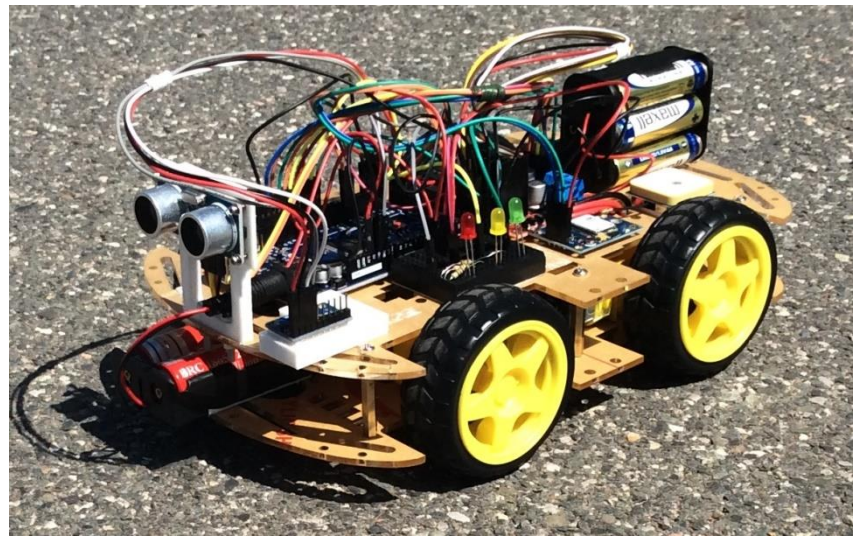


Figura 4.2.11 Imatge del prototip

- Distribució elements hardware en planta prototip:

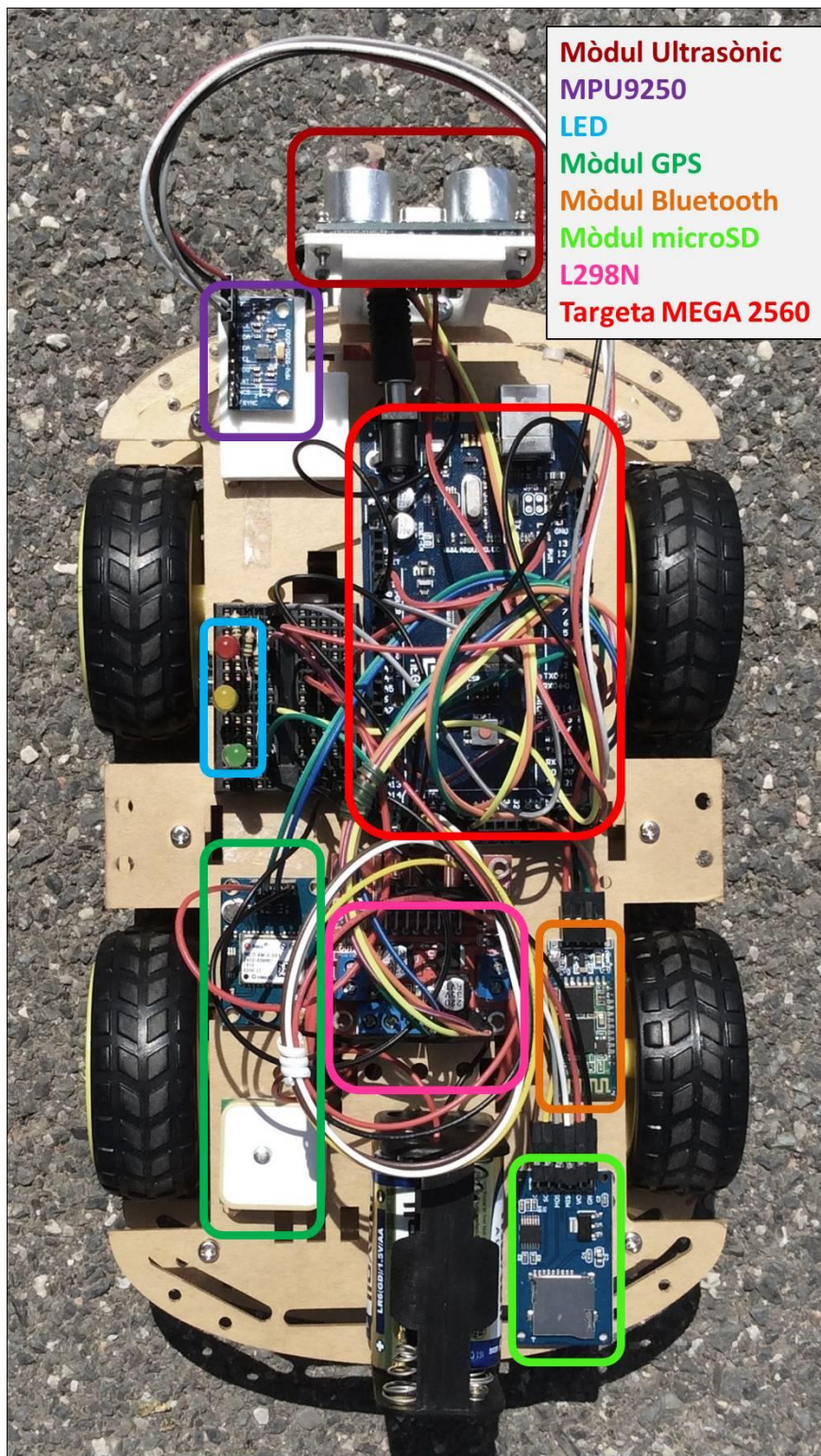


Figura 4.2.12 Imatge del prototip amb els diferents elements acoblats

- Resum de connexions:

Els pins de la targeta MEGA 2560 que hem emprat per connectar els diferents sensors són els següents:

Micro SD:

- MISO: Pin 50
- MOSI: Pin 51
- SCK: Pin 52
- CS: Pin 53

Bluetooth:

- RX: Pin TX3 14
- TX: Pin RX3 15

GPS:

- RX: Pin TX1 18
- TX: Pin RX1 19

LED:

- LED verd: Pin 4
- LED groc: Pin 5
- LED vermell: Pin 6

MPU 9250:

- SDA: Pin SDA 20
- SCL: Pin SCL 21

HC-SR04:

- TRIGGER_PIN: Pin 43
- ECHO_PIN: Pin 44

L298N:

- IN1: Pin 13
- IN2: Pin 12
- IN3: Pin 9
- IN4: Pin 8
- ENA: Pin 11
- ENB: Pin 10

- Esquema de connexions:

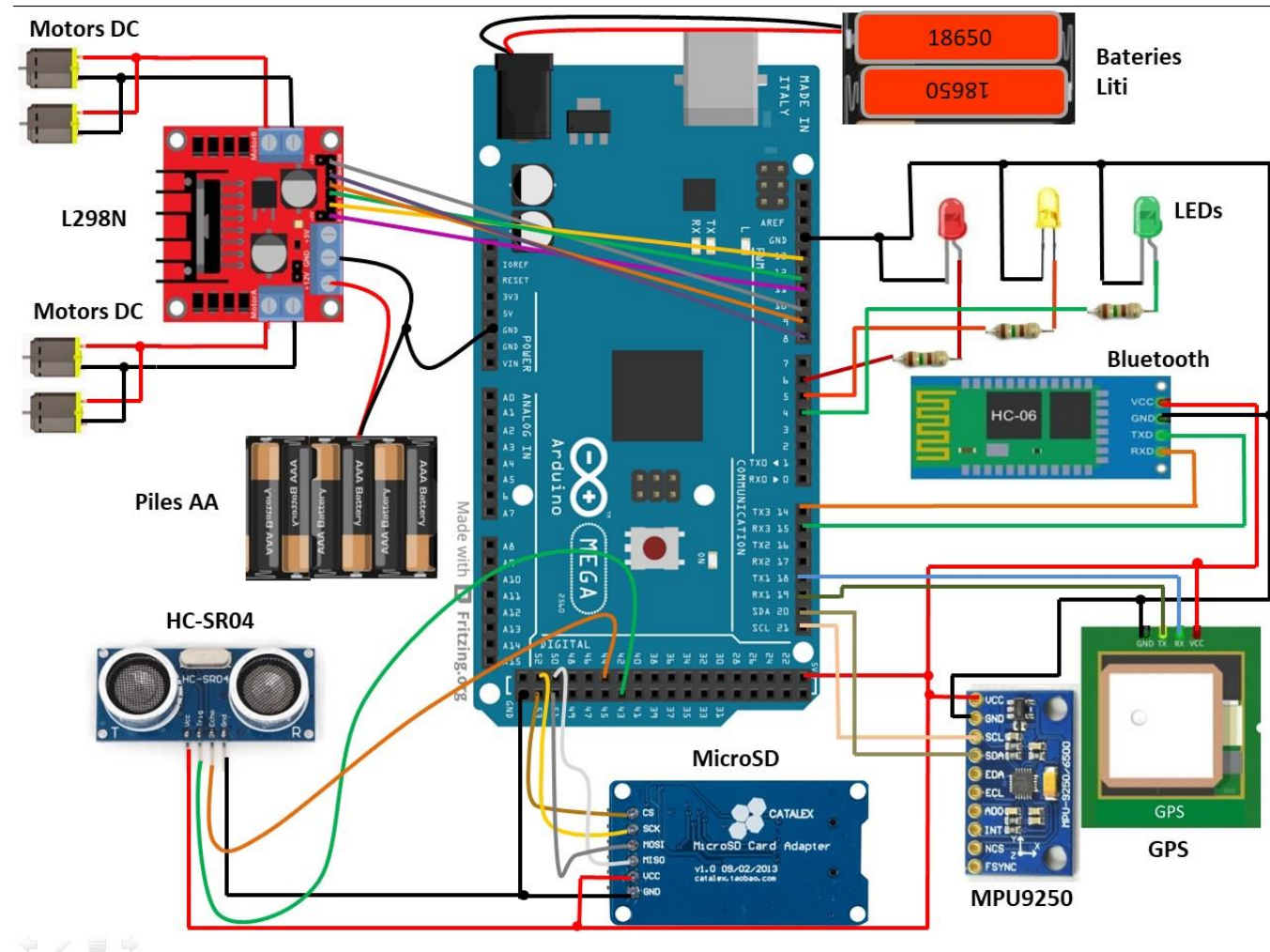


Figura 4.2.13 Esquemes de les diferents connexions en el prototip

4.3 Aplicacions per al control remot

4.3.1 App per la presa de coordenades

La primera part en el projecte és traçar o descriure la trajectòria que el vehicle autònom haurà de recórrer. Per aquest motiu, primer controlarem remotament el prototip i el farem avançar i girar en els punts decidits. En el projecte s'ha decidit que el control remot serà des d'un telèfon Android que es comunicarà amb el vehicle mitjançant Bluetooth.

La App està realitzada a partir de MIT App Inventor, un entorn de programació visual intuïtiu que permet crear aplicacions totalment funcionals per a telèfons intel·ligents i tauletes, és una eina basada en blocs ja preestablerts.

La App creada és molt bàsica i s'anomena *AGV Recorder*, simplement es basa en la pulsació de botons per a diversos aspectes:

- Botó "Control Manual AGV": Serveix per obrir el llistat de dispositius Bluetooth detectats per el telèfon. Podem escollir amb quin dispositiu el nostre telèfon es vincularà, en aquest cas amb el mòdul Bluetooth del prototip.
- Botons de direccions: Aquests botons estan representats per fletxes, cada una representa una direcció: Endavant, esquerre, dreta i enrere.
- Botó "STOP": Serveix per parar el prototip. Atura qualsevol ordre de moviment.
- Botó "OFF": Apaga l'aplicació.

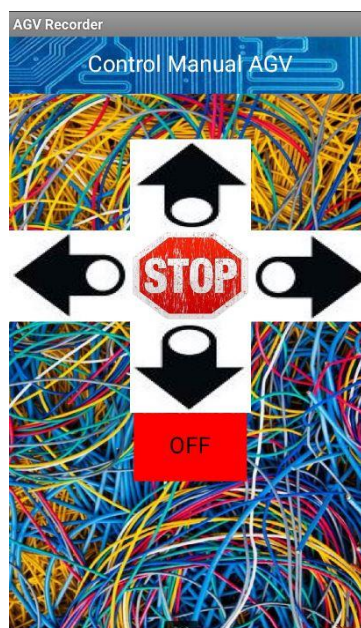


Figura 4.3.1 Interfície de l'aplicació AGV Recorder

Aquesta aplicació es programa a partir d'un sistema de blocs. La programació concreta d'aquesta aplicació és la següent:

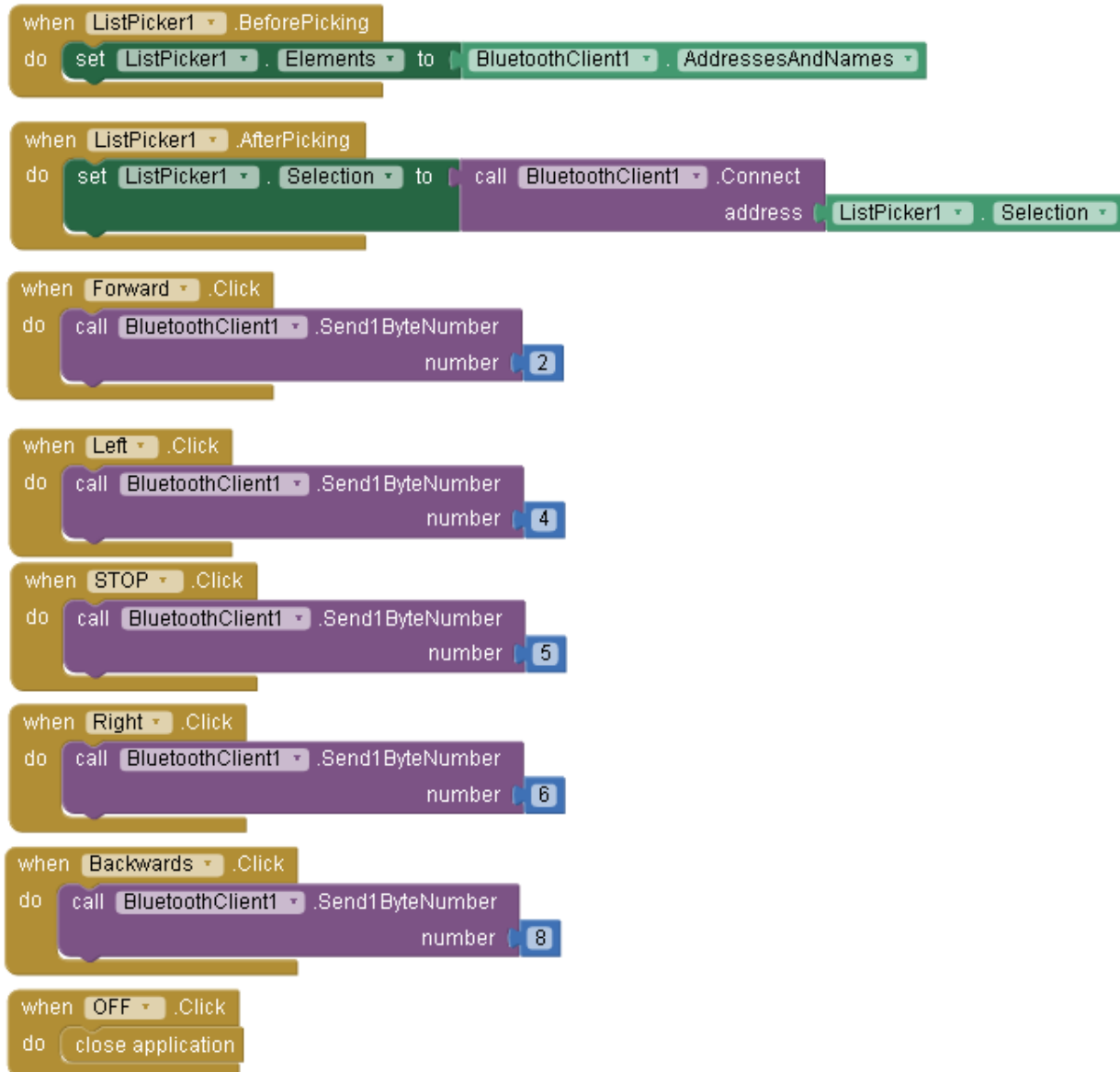


Figura 4.3.2 Sistema de blocs app AGV Recorder

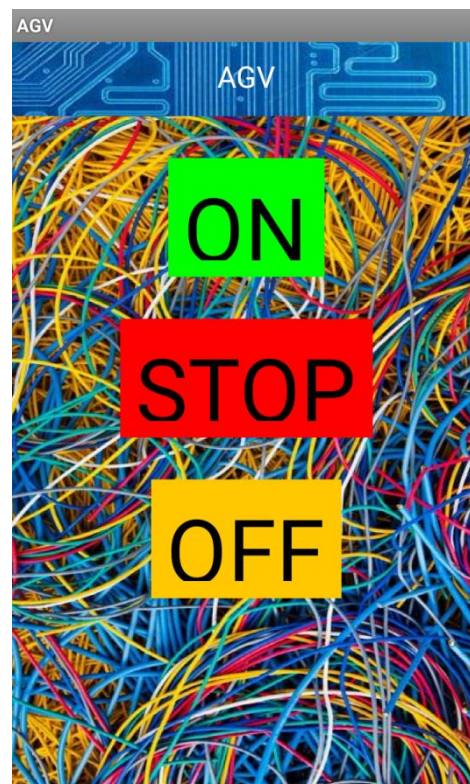
Com es pot veure, al prémer algun dels botons de direcció o el botó STOP, s'envia un número al prototip. En el codi Arduino, l'estat del prototip està en funció d'aquestes lletres. Segons la lletra que rebí realitzarà l'acció establerta.

4.3.2 App per l'AGV

En la segona part del projecte, les coordenades obtingudes anteriorment seran posades en el programa de l'AGV. Tot i així, s'ha creat una segona app per tal de poder iniciar o parar el programa.

La App creada és molt bàsica i s'anomena AGV, simplement es basa en la pulsació de botons per a diversos aspectes:

- **Botó “AGV”**: Serveix per obrir el llistat de dispositius Bluetooth detectats per el telèfon. Podem escollir amb quin dispositiu el nostre telèfon es vincularà, en aquest cas amb el mòdul Bluetooth del prototip.
- **Botons “ON”**: Botó per iniciar el programa de guiatge automàtic.
- **Botó “STOP”**: Serveix per parar el prototip. És equivalent a una parada d'emergència.
- **Botó “OFF”**: Apaga l'aplicació.



***Figura 4.3.3** Interfície de l'aplicació AGV*

Aquesta aplicació es programa a partir d'un sistema de blocs. La programació concreta d'aquesta aplicació és la següent:

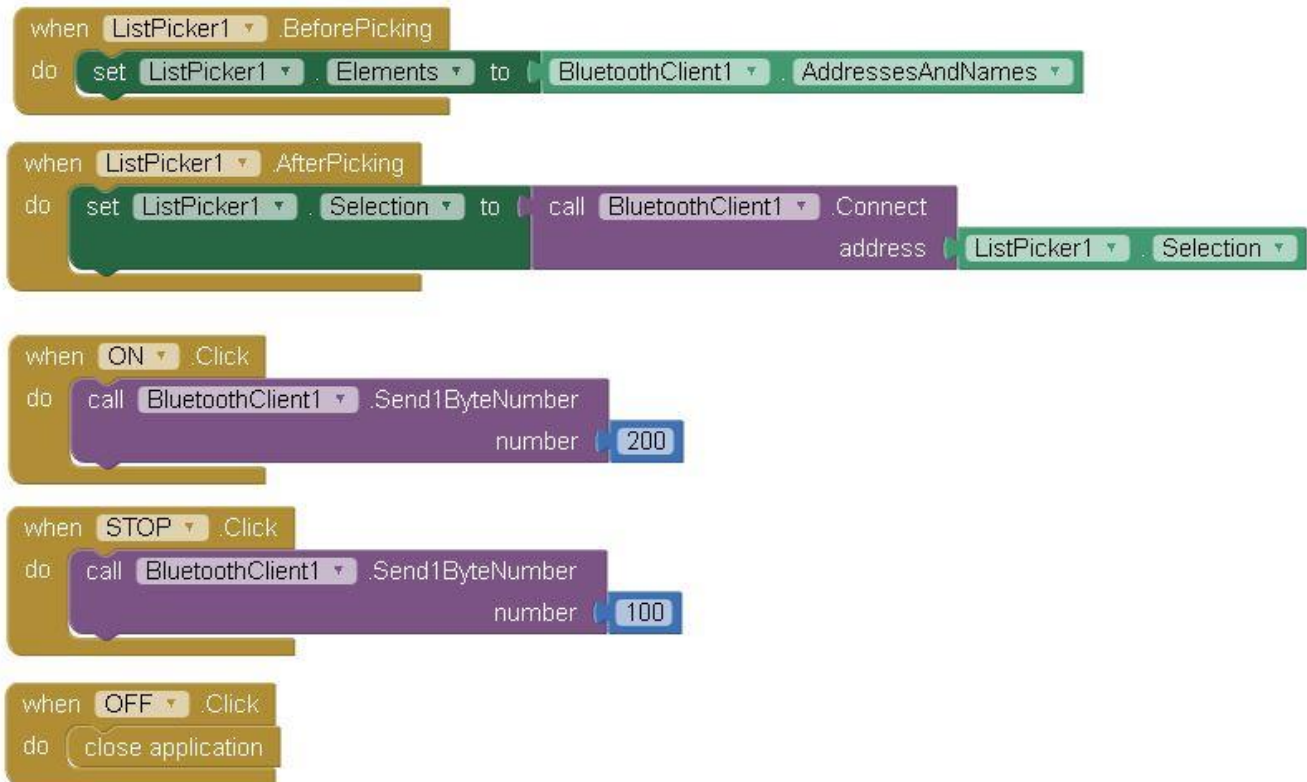


Figura 4.3.4 Sistema de blocs app AGV

Com es pot veure, al prémer algun dels botons s'envia un número al prototip. En el codi Arduino, l'estat del prototip està en funció d'aquestes lletres. Segons la lletra que rebí realitzarà l'acció establerta.

4.4 Implementació software del sistema

El projecte en sí consta de tres programes. Primerament explicarem el programa implicat en l'ús del MPU9250. El segon programa és l'emprat per obtenir les coordenades de la trajectòria que recourem. Finalment, l'últim programa serà el propi de l'AGV, programa per el qual el robot seguirà la ruta autònomament i en bucle.

4.4.1 Programa MPU-9250: Obtenció del yaw.

El sensor MPU-9250 és una unitat de mesura inercial (IMU), de 9 eixos. Està format per un acceleròmetre, giroscopi i magnetòmetre, els tres de tres eixos. El programa emprat en aquest projecte és una adaptació del programa emprat creat per Kris Winers (<https://github.com/kriswiner>).

Bàsicament el programa calibra els tres sensors en funció del lloc i posició que estiguin, després obté els valors obtinguts per els tres eixos de cada dispositiu. Un cop té aquests valors, els normalitza i unifica mitjançant el filtre Madgwick, que bàsicament permet expressar les dades en quaternaris. Finalment, passem els quaternaris a angles de Euler i així podem obtenir la relació entre el sistema de coordenades geogràfiques de la terra i les coordenades *Body* del prototip.

- Calibratge:

L'objectiu del calibratge és determinar el factor d'escala i l'anomenat *bias*, que s'entén com l'error sistemàtic que apareixen en les mesures. La relació d'ambdós paràmetres són donats per la fulla d'especificacions del fabricant, però no són constants. Mitjançant el calibratge podem detectar aquest *bias*, i així eliminar aquest error per obtenir dades més correctes. Per tal de fer els calibratges, les funcions dels programes van acumulant les dades obtingudes un cop els sensors s'han iniciat. Calcula la mitjana de les lectures i, a continuació, càrrega aquest error obtingut als registres dels sensors.

En el cas de l'acceleròmetre i giroscopi, el seu calibratge es realitza amb el MPU9250 en repòs. En canvi, el magnetòmetre necessita fer el calibratge en moviment. Tot seguit repassarem el calibratge del magnetòmetre.

Com s'ha comentat anteriorment, el magnetòmetre pren mesures dels camps magnètics que detecta. En el projecte, a nosaltres ens interessa que els resultats obtinguts siguin en relació amb el camp magnètic terrestre per així obtenir orientació respecte el Nord magnètic. Però, avui en dia, ens trobem envoltats de materials ferromagnètics o elements que poden crear o alterar camps magnètics.

Com el magnetòmetre expressa dades en tres eixos, l'ideal de resposta superficial d'aquests resultats ha de ser una esfera centrada en l'origen, on M_x , M_y i M_z representarien els tres eixos de l'esfera. En canvi, si no calibrem el magnetòmetre podem obtenir un resultat com aquest:

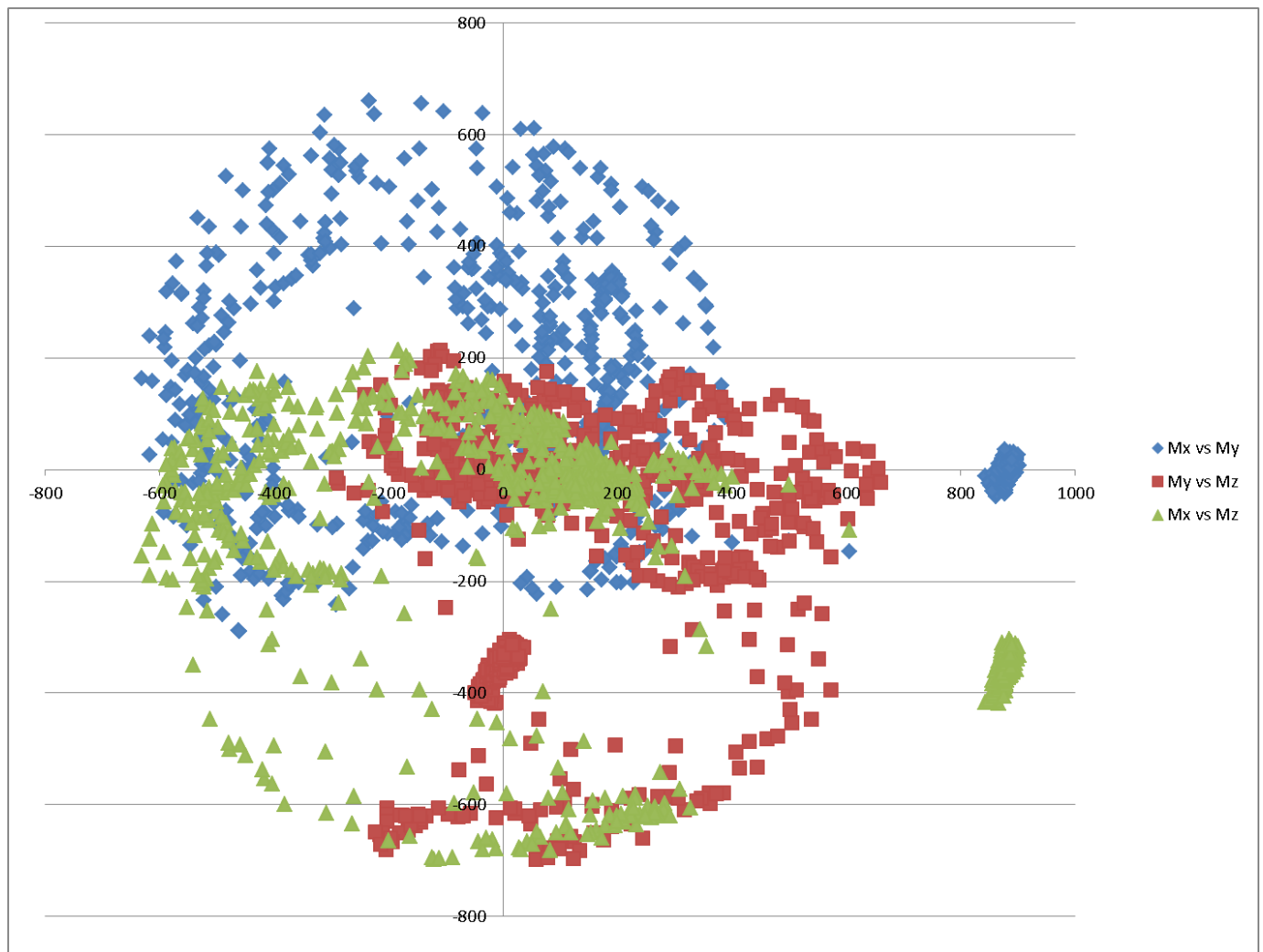


Figura 4.4.1 Gràfic magnetòmetre sense calibrar

Clarament podem observar que dista de l'esperat. Per una banda la resposta dels eixos no està centrada a l'origen i apart la resposta de sensibilitat es diferent al llarg de cada eix. Això principalment és fruit dels anomenats errors d'acers durs i tous respectivament.

Els *biases* de l'acer dur són normalment els majors i més fàcils de corregir. La manera de fer-ho és gravar totes les dades que dona el magnetòmetre possibles mentre el sensor el movem suaument fent una forma de vuit i fer un seguiment del mínim i màxim camp magnètic mesurat al llarg dels tres eixos i les sis direccions: $\pm M_x$, $\pm M_y$, $\pm M_z$. Emprant aquest registres de màxim i mínim i obtenint la mitjana, podem centrar la resposta dels eixos.

Per arreglar el problema de la sensibilitat dels eixos, es tracta amb l'error d'acer tou. Utilitza les mateixes dades que amb d'acer dur, llavors compara els valors màxims i mínims de cada eix i dels tres eixos a la vegada. Prenent les mitjanes és capaç de tornar-ho a escalar.

Un cop realitzat el correcte calibratge, obtenim tres valors de *bias* per a cada eix. Aquests valors, si els posem directament al codi del programa ens evita haver de fer el calibratge cada cop que fem servir el magnetòmetre. Tot i que el més recomanable seria calibrar-ho cada cop, sovint no n'hi ha tanta diferència un cop s'ha realitzat correctament.

Així, després de fer un correcte calibratge, els resultats obtinguts són els següents:

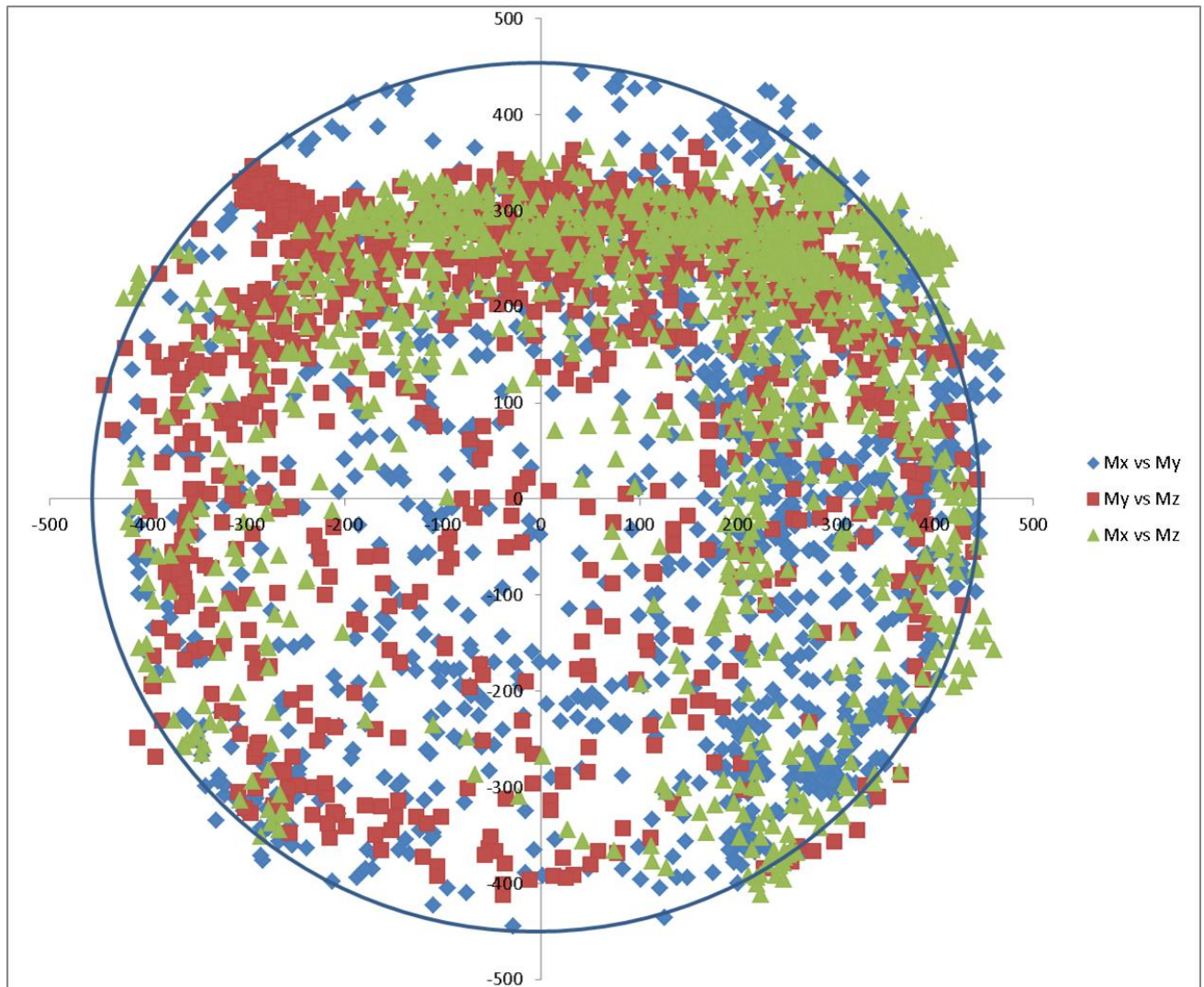


Figura 4.4.2 Gràfic magnetòmetre calibrat

Com es pot observar en la representació de les dades obtingudes, ara sí que trobem els orígens dels eixos centrats i tots presenten valors màxims i mínims semblants. D'altra banda, com s'ha mencionat, per fer un calibratge acurat cal moure el dispositiu seguint una forma de vuit. Per tal de poder fer aquest moviment s'ha dissenyat una peça que permet col·locar i treure el magnetòmetre del prototip fàcilment. (Annex 9.4).

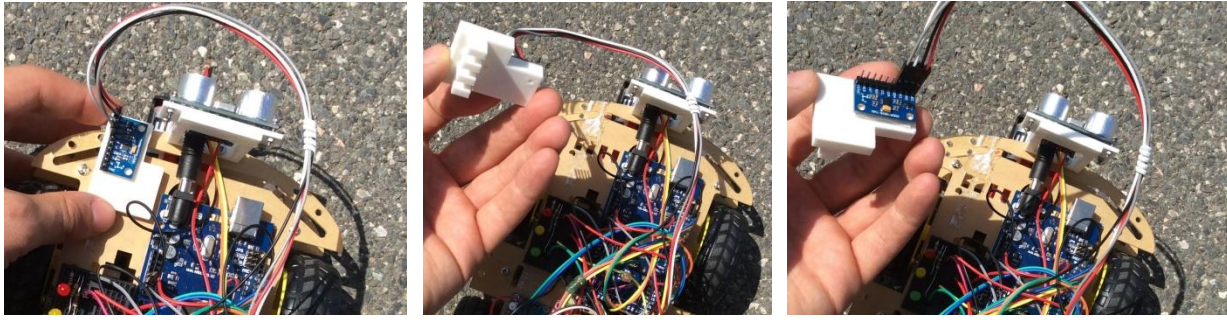


Figura 4.4.3 Acoblament MPU9250 al prototip

Tot i que hem realitzar un correcte calibratge del dispositiu, aquest no sempre és capaç de filtrar tots els camps magnètics que l'incideixen. El prototip, al anar pràcticament arran de terra, en certs punt veu la seva brúixola es veu alterada i dona resultats totalment erronis. Després de comprovacions, es suposa que algun possible cablejat o elements ferromagnètics que es puguin trobar sota el terra creen aquests camps magnètics alteradors. Una possible solució a aquest problema seria adquirir un sensor de millor qualitat. La solució més simple seria allunyar el sensor el màxim del terra possible, però degut a les dimensions del prototip això no ha estat possible.

- Obtenció del yaw:

Un cop tenim el calibratge realitzat correctament, ja podem obtenir un correcte yaw. El yaw serà l'angle, seguint el sentit de les agulles del rellotge, que es troba entre el Nord magnètic i el nostre prototip. El programa, a mesura que va rebent les dades dels tres sensors, els filtra a través del filtre de Madgwick. El filtre de Madgwick serveix per fusionar l'acceleració, la velocitat de gir i el moment magnètic i donar lloc a una estimació de l'orientació absoluta del dispositiu mitjançant quaternions.

Els quaternions són una generalització dels nombres complexos, de tal manera que si un nombre complex defineix dues dimensions afegint la component i (recordar que $i \cdot i = -1$), un quaternió defineix quatre dimensions afegint les components i , j , k . Els quaternions unitaris proporcionen una notació matemàtica per representar les orientacions i rotacions d'objectes en tres dimensions. L'avantatge d'utilitzar quaternions és que necessiten menys paràmetres per descriure l'orientació del nostre actor, per exemple un matriu requeriria 9 paràmetres i el quaternió només 4. D'altra banda es poden interpolar, i així al interpolar dos quaternions podem obtenir un quaternió que representa una orientació intermèdia. En el codi, cridem a la funció que realitza el filtre de Madgwick:

```
MadgwickQuaternionUpdate(-ay, -ax, az, gy*PI/180.0f, gx*PI/180.0f, -gz*PI/180.0f, mx, my, mz);
```

Com s'observa, el filtre està en funció amb les mesures dels tres sensors. Apart, la posició dels eixos del sensors en la funció és important ja que es basa en el sistema de coordenades NED (north-east-down). Així, en cada sensor hem de posar quin eix marca el nord, est o cap

a baix i en aquest ordre. Tenint en compte les orientacions dels eixos marcades per el fabricant:

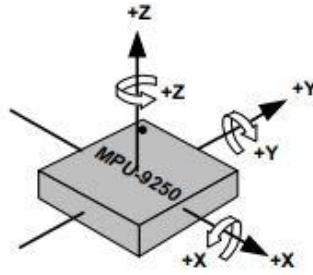


Figura 4.4.4 Orientació eixos acceleròmetre i giroscopi

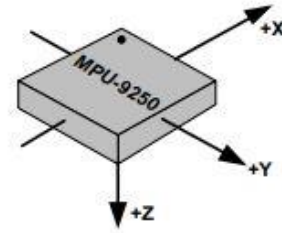


Figura 4.4.5 Orientació eixos magnetòmetre

En el nostre prototip hem definit que els eixos y de l'acceleròmetre i giroscopi i l'eix x del magnetòmetre marcaran el Nord, els eixos x de l'acceleròmetre i giroscopi i l'eix y del magnetòmetre marcaran l'est, finalment el eix z del magnetòmetre marcarà la direcció cap a baix. Com la gravetat per convenció és positiva cap a baix, cal invertir els eixos de l'acceleròmetre. Amb tot això obtenim llavors: (-ay, -ax, az, gy, gx, -gz, mx, my, mz). Finalment, un cop passat el filtre de Madgwick, passem el quaternió a angle de Euler, per tal de poder representar aquesta orientació amb graus.

Per tal de fer això, i sent *roll* (ϕ), *pitch* (θ) i *yaw* (ψ) seguim les relacions entre ambdós:

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{atan2}(2(q_0 q_1 + q_2 q_3), 1 - 2(q_1^2 + q_2^2)) \\ \text{asin}(2(q_0 q_2 - q_3 q_1)) \\ \text{atan2}(2(q_0 q_3 + q_1 q_2), 1 - 2(q_2^2 + q_3^2)) \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 6.4.1})$$

Com el nostre prototip només requereix del yaw, en el codi només es calcula aquest. D'altra banda, el yaw obtingut és l'angle respecte el Nord magnètic. Per tal de poder obtenir una orientació adequada amb les coordenades geogràfiques cal obtenir la orientació respecte el Nord geogràfic.

Aquí trobem el concepte de declinació magnètica, que és l'angle entre aquests dos Nords. En el cas de Barcelona, té una declinació de 53 minuts (0.883 graus) a l'est. Per tant, un cop obtenim el yaw cal restar-li aquesta declinació, ja que la declinació cap a l'est es considera positiva.

El atan2 ens dona l'angle de -180 a 180 graus, per això si el valor és negatiu li sumem 360 i així obtenim la orientació de 0° a 360°.

Amb tot això, el prototip ja és capaç d'orientar-se autònomament. Hem col·locar el MPU9250 de tal manera que el robot sempre rebi l'orientació del seu morro respecte el Nord geogràfic i a la seva dreta es trobi l'Est.

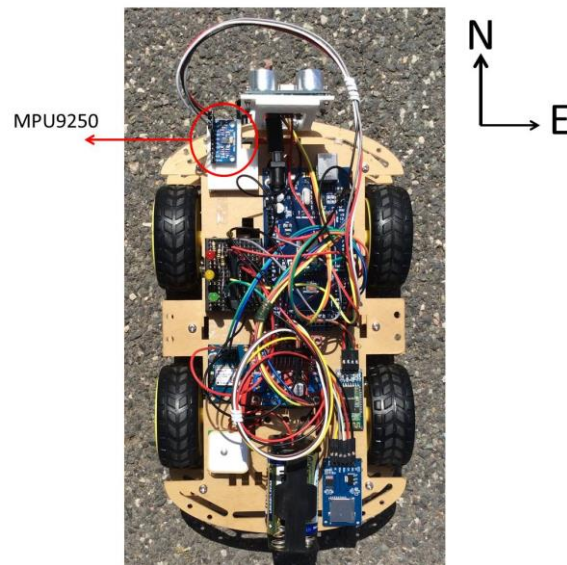


Figura 4.4.6 Orientació MPU9250 en prototip

4.4.2 Programa AGV Enrutador

Per tal de poder enregistrar les coordenades de la ruta que seguirà l'AGV, primer controlarem el vehicle amb la App de *AGV enrutador* i aquest enregistrarà les coordenades. La part més important del codi és que un cop iniciat el GPS, el robot només enregistrarà en el targeta microSD la primera coordenada que obté un cop l'hem parat. Bàsicament, només farem parar el vehicle quan anem a fer un gir o un canvi de direcció. L'objectiu és prendre només les coordenades inicials i finals de les rectes que el prototip recorre. La part del codi doncs és el següent:

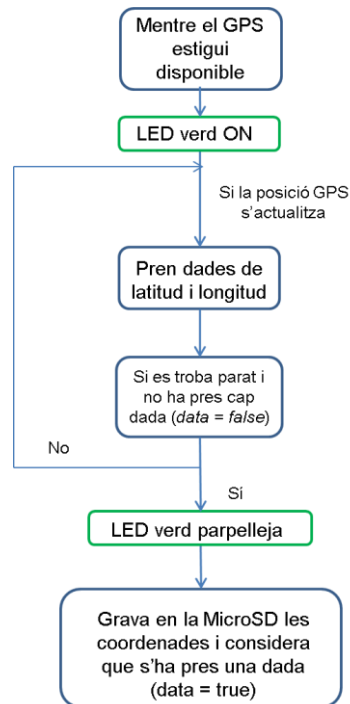


Figura 4.4.7 Diagrama flux GPS AGV Enrutador

El *data* és una variable booleana que hem utilitzat per evitar que prengui més d'una dada quan està parat. És important prendre només la primera dada, ja que el GPS té un rendiment millor quan està en moviment. És per això que la primera coordenada presa un cop s'ha parat és la que té menys marge d'error. Quan *data = false* i el vehicle està parat, prenem la coordenada i immediatament posem que *data = true*, per evitar que en prengui més.

Paral·lelament la variable *estat* serveix per indicar quin moviment ha de realitzar el prototip, si girar, avançar o parar-se. Aquesta variable ve determinada per la informació que rep el Bluetooth de la App *AGV Enrutador* prèviament explicada. Així, per tal de prendre només la primera coordenada un cop el vehicle s'ha parat, cada cop que el robot avança cap endavant la variable *data* esdevé *false* indicant que no s'ha pres una nova dada des del canvi de posició.

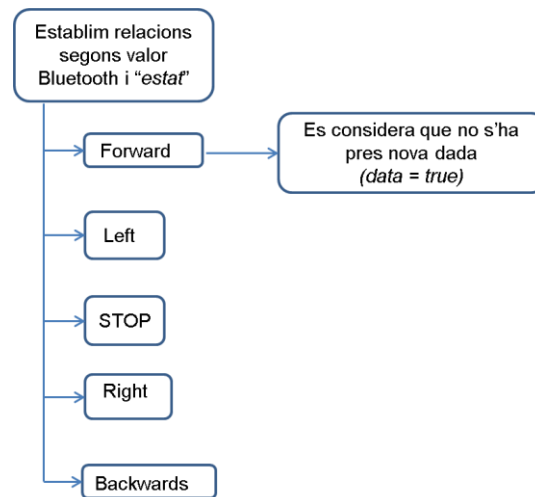
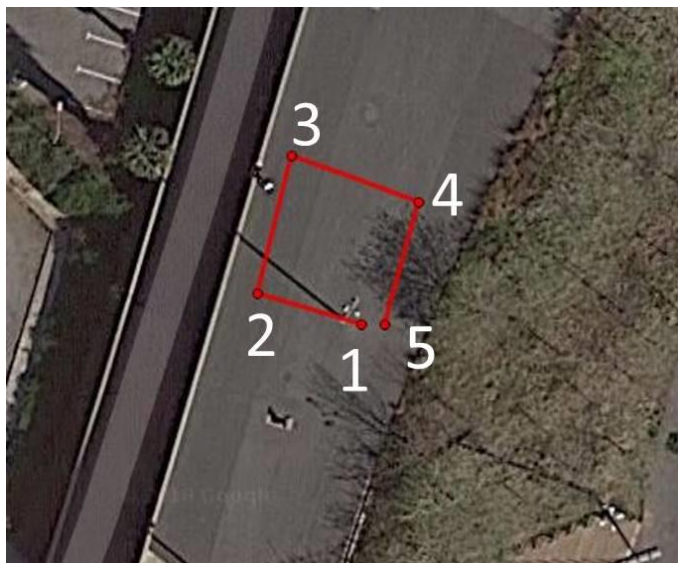


Figura 4.4.9 Diagrama flux bluetooth AGV Enrutador

Les coordenades es graben amb 5 decimals, ja el computador Arduino té establert com a màxim aquest nombre de decimals. Seria inútil buscar més precisió amb és decimals.

Alguns dels resultats obtinguts amb aquest programa són els següents:



	Latitud,	Longitud:
1.	41.40848,	2.22475
2.	41.40850,	2.22466
3.	41.40859,	2.22469
4.	41.40856,	2.22480
5.	41.40848,	2.22477

Figura 4.4.10 Exemple de ruta 1



Figura 4.4.11 Exemple de ruta 2

Quan hem acabat la ruta, simplement desconnectem l'Arduino i passem les coordenades de la targeta microSD al programa de AGV Navegació, que és el programa per el qual el prototip realitza la trajectòria autònomament i en bucle.

4.4.3 Programa AGV Navegation

Aquest en el programa final que fa que el prototip realitzi la trajectòria en bucle. Les coordenades de la trajectòria s'han de posar prèviament, a partir d'elles el programa comença a funcionar. El prototip basarà tots seus càlculs en les coordenades indicades. Pas per pas anirem explicant el programa. Primerament posem les coordenades obtingudes del programa AGV *Enrutador* en una matriu. Cal destacar que la última coordenada és igual a la primera per tal de tancar el bucle:

```
const float coorarray[10]=
{41.40848, 2.22475,
41.40850, 2.22466,
41.40859, 2.22469,
41.40856, 2.22480,
41.40848, 2.22475};

void setup()
```

Figura 4.4.12 Matriu coordenades programa

En el *void setup()* iniciem els diferents dispositius i és on el giroscopi i magnetòmetre es calibren. En el cas del magnetòmetre no fem el calibratge, simplement posem els *biases* en la funció que el fa prendre dades i així actua correctament. Un cop comença el *void loop()* comença el bucle. Primer de tot, determina que *start* depèn del valor rebut pel bluetooth. A la

App hem determinat que al prémer ON s'envia el número 100 i en STOP el 200. ON serveix per iniciar el bucle i STOP és parar el bucle en qualsevol moment.

La variable *estat* en aquest cas és utilitzada com un controlador. Per tal de què no es realitzin funcions en antelació a altres, fins que no s'ha acabat una funció no comença la següent. Per tant, cada funció o part del programa tindrà un *estat* assignat. L'*estat* inicial és zero i amb això el GPS comença a funcionar. Bàsicament comença a prendre dades de la situació on es troba:

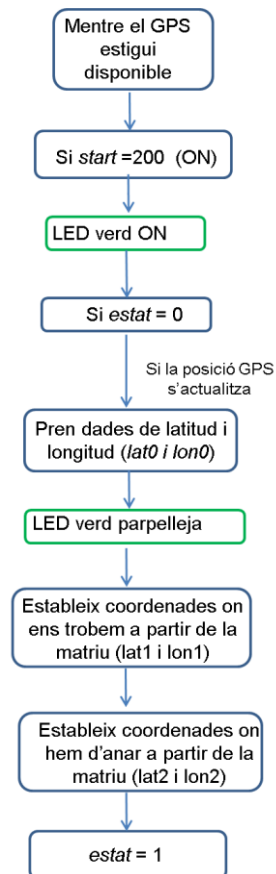


Figura 4.4.13 Diagrama flux n.0 AGV Navigation

Les coordenades trobades són *lat0* i *lon0*, les coordenades *lat1* i *lon1* són les coordenades on teòricament s'hauria de trobar i les *lat2* i *lon2* són les coordenades on s'ha de dirigir. Un cop rep coordenades passa a la següent part, on compara les coordenades rebudes i les on s'hauria de trobar.

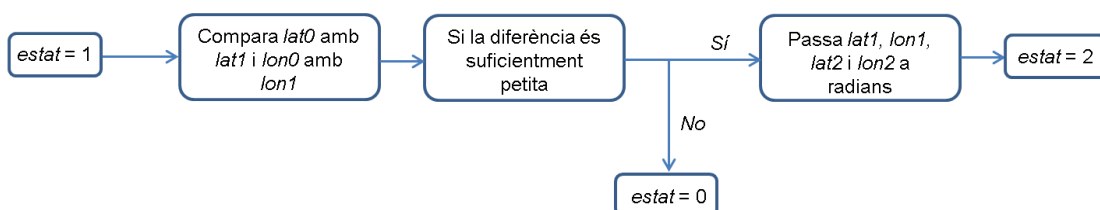


Figura 4.4.14 Diagrama flux n.1 AGV Navigation

Si la diferència entre les coordenades és significativament petita, el prototip considera que està en una posició aproximadament correcta, passa les coordenades a radians i avança a la següent part. A partir d'aquí, el vehicle considera que es troba a les coordenades teòriques $lat1$ i $lon1$. Si les coordenades no passen el filtre, es torna al pas anterior i es torna a buscar coordenades.

En el següent pas (*estat* = 2), el programa calcula el *bearing* entre les coordenades teòriques ($lat1$, $lon1$ i $lat2$, $lon2$), d'aquesta manera sap a quina orientació hauria d'estar per poder avançar. Un cop té el *bearing*, troba l'orientació pròpia, és a dir, calcula el *yaw* o *heading* amb la funció *get_compass_angle()*.

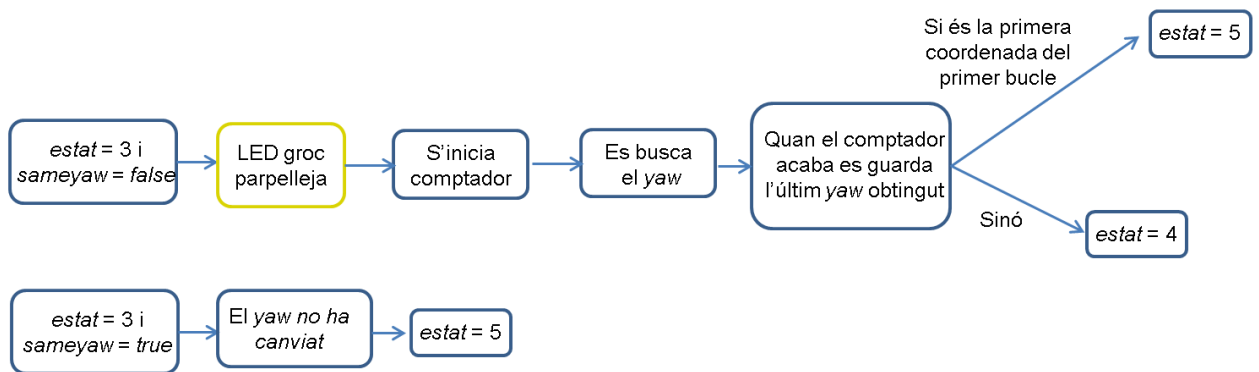


Figura 4.4.14 Diagrama flux n.3 AGV Navigation

El programa triga aproximadament 11 segons a obtenir el *yaw*. El *sameyaw* és una variable booleana que serveix per evitar tornar a buscar un angle que és el mateix, així si el robot no ha realitzat cap gir sap que encara està en la mateixa orientació, i per tant, no li cal tornar a buscar-ho.

La variable booleana *bucle* serveix per determinar si s'ha realitzat un bucle almenys. Per tant, si la coordenada és la primera del programa i no s'ha realitzat cap bucle (*bucle* = *fals*), directament passa al pas 5, sinó al 4. El pas 4 serveix per garantir una orientació correcta:

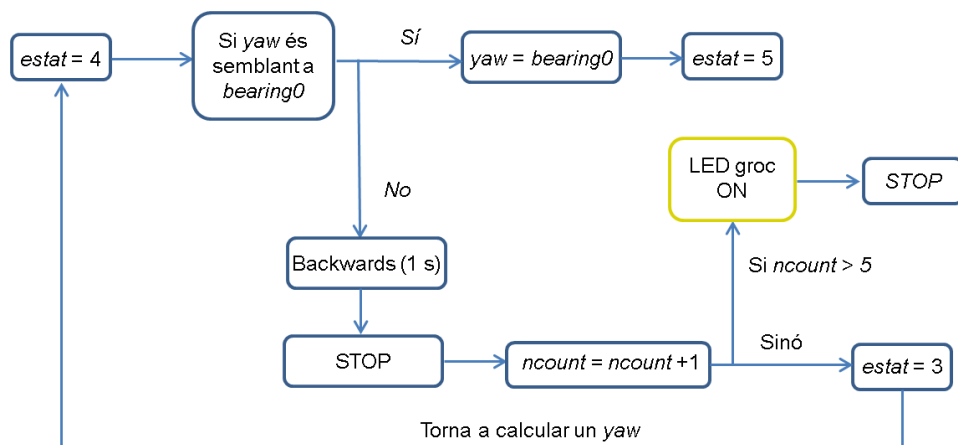


Figura 4.4.15 Diagrama flux n.4 AGV Navigation

El que fa és que un cop obtingut el *yaw*, el compara amb l'angle que hauria d'estar (*bearing0*), que és el *bearing* calculat en la iteració anterior. Un cop comparats, si la diferència entre ells es troba en els rangs determinats, pren com a *yaw* (*currentAngle*) el *bearing* anterior i va al següent pas. En el cas de què l'angle sigui massa diferent, significa que es troba en un punt on el camp magnètic es veu afectat i llavors tira enrere per trobar un angle adient. Si al cap de 5 cops no troba l'angle simplement es para. Si troba un angle correcte, torna a recórrer la distància que havia recorregut enrere.

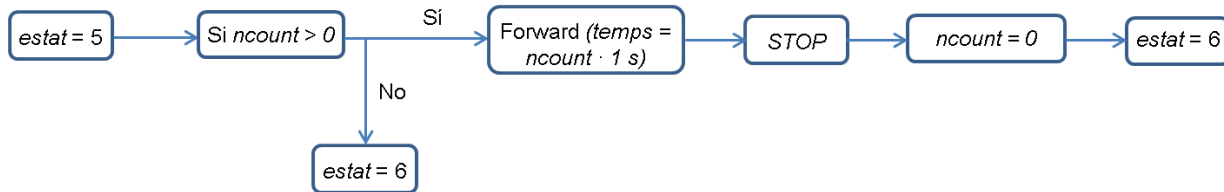


Figura 4.4.16 Diagrama flux n.5 AGV Navigation

En el cas de què trobi l'angle passa a la següent part. En aquest punt (*estat = 6*) calcula la distància que ha de recórrer i després calcula el temps (*ftime*) que trigarà a recorre-ho en funció de la velocitat lineal assignada. La distància la calculem mitjançant la fórmula de Haversine, que permet el càlcul de la distància de cercle màxima entre dos punts d'un globus sabent la seva longitud i latitud. La fórmula és la següent:

$$\begin{aligned}
 d &= 2r \arcsin \left(\sqrt{\text{hav}(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{hav}(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \\
 &= 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)
 \end{aligned}
 \quad (\text{Eq.6.4.2})$$

d = Distància

φ_1 = Latitud 1 φ_2 = Latitud 2

λ_1 = Longitud 1 λ_2 = Longitud 2

Un cop ha calculat la distància, determina si ha de fer un gir o no (*estat = 7*). Calcula la diferència entre l'angle en què el vehicle es troba (*currentAngle*) i el *bearing*. S'han establert uns rangs de graus per determinar si cal fer un gir o no. El prototip només accepta girs de 90°, degut a la no sempre regularitat del magnetòmetre. En el cas de què hagi de girar, determina cap a quina banda:

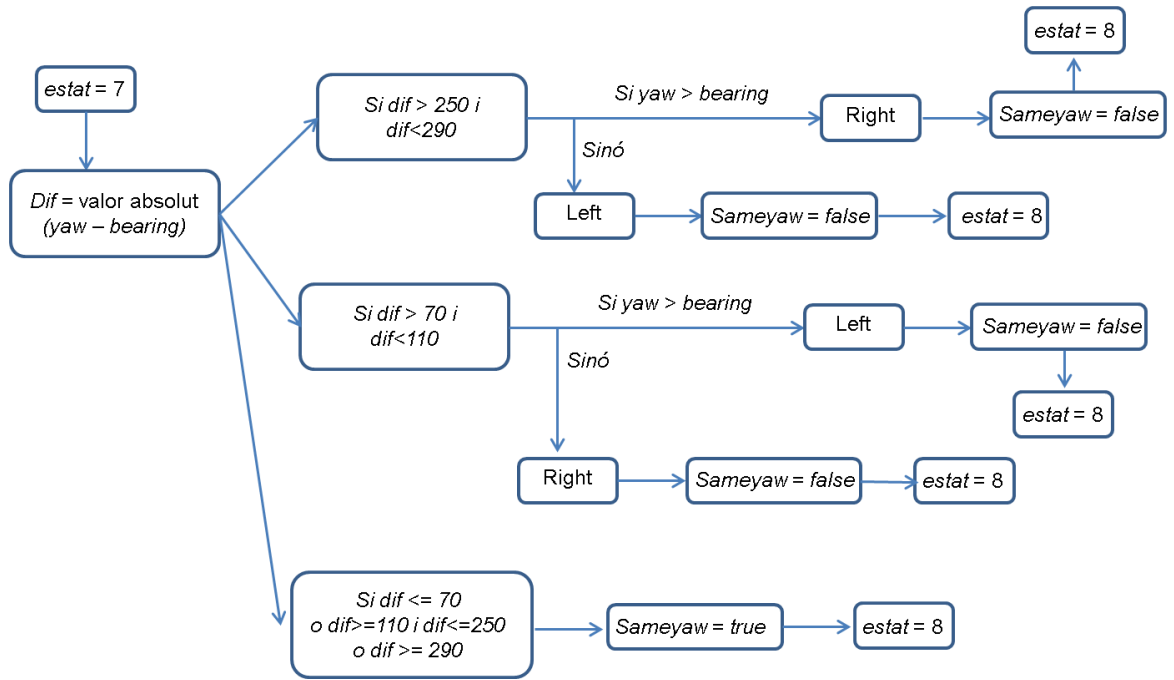


Figura 4.4.17 Diagrama flux n.7 AGV Navigation

Després d'aquest pas, passa a l'últim pas (*estat* = 8 o *estat* = 9) que simplement és avançar la distància calculada. El programa sempre passarà del pas 7 al 8. Però quan el vehicle estigui recorrent la distància concreta, si durant aquest recorregut el mòdul ultrasònic detecta un obstacle, es passarà a l'*estat* 9. Un cop ha recorregut la distància, la nova coordenada s'estableix i el bucle torna a començar.

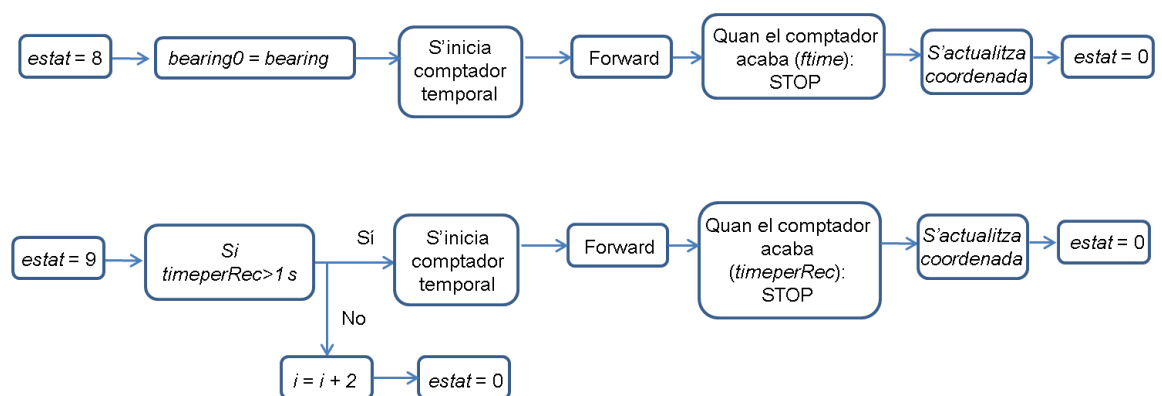


Figura 4.4.18 Diagrama flux n.8 AGV Navigation

Finalment explicar el estat = 9, que es posa en marxa quan el mòdul ultrasònic detecta un objecte dins de la distància definida. El mòdul ultrasònic només funciona quan el vehicle està recorrent una distància, quan detecta un obstacle el prototip es para durant un temps assignat. Simplement la funció calcula el temps recorregut (distància) abans de la parada marcada per el mòdul. Després de passar el temps en parat marcat, torna a avançar recorrent la distància que li faltava per recórrer fins al següent punt o coordenada.

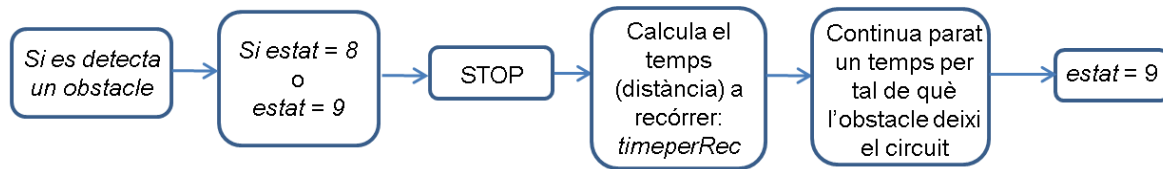


Figura 4.4.19 Diagrama flux n.9 AGV Navigation

Amb aquest últim punt acaba amb l'explicació dels diferents programes realitzats per tal de fer funcionar el prototip i demostrar que el guiatge GPS és una opció viables per a un A

Conclusions i treball futur

L'objectiu del prototip era demostrar que l'ús del guiatge amb GPS es pot fer servir per a un AGV. Després de realitzar diferents tests, s'ha comprovat que amb el sensor actual trobem un error d'aproximadament 3 o 4 metres, que era l'error esperat. Tenint en compte que aquest error ve degut a les limitacions tècniques del propi sensor GPS, es suposa que fent servir sensors de major precisió encara es pot reduir més l'error fins a menys d'un metre fàcilment.

D'altra banda, han aparegut diversos problemes a l'hora de fer girar el prototip. S'ha observat que el prototip gira de diferent manera depenent de la inclinació del terra, rugositat i fricció. Per tant, no s'ha pogut establir un mateix gir. Igualment això es deu a la simplicitat del prototip.

També han aparegut problemes amb el magnetòmetre. Hi havia punts específics on el yaw obtingut era molt diferent del que havia de ser. Aquests errors es deuen a camps magnètics externs que afecten al sensor. Aquests camps poden ser fruit del cablejat que es troba sota el sòl en certs punts. Aquest problema es poden solucionar fent servir un dispositiu de millor qualitat, que sigui capaç per ell mateix de filtrar aquestes alteracions, o simplement allunyant suficientment el dispositiu del sòl. En el nostre cas, la segona opció no ha estat possible.

En general s'ha demostrat que el guiatge GPS pot ser una solució molt assequible per al funcionament d'AGVs en circuits exteriors, sobretot si les distàncies a recórrer són considerablement llargues. Tot i que no és perfecte, els petits problemes que presenta poden ser fàcilment solucionats amb elements d'autocorrecció o sensors de millor qualitat.

Treball futur

Per tal de continuar amb el projecte, bàsicament ens centràrem en augmentar l'autonomia de l'AGV en el sentit de què no acceptés només fer girs de 90°, sinó que pogués fer qualsevol gir. Per tal de poder arribar a aquest punt caldria un millor GPS i una brúixola més acurada o intentar millorar el rendiment dels que hem utilitzat.

D'altra banda, també seria interessant afegir-li més sensors per tal d'arribar a ser un prototip el més fiable possible a l'AGV proposat. El sensor més interessant seria una antena RFID, per poder comunicar-nos amb possibles TAGs que col·loquéssim per tal d'usar-los com a elements d'autocorrecció.

En temes de programació, una de les coses que es podrien realitzar si es continués amb el projecte seria unificar els dos programes en un mateix. Així, el vehicle passaria de gravar les coordenades a seguir-les automàticament, reduint temps en posar un programa o un altre i aconseguir l'objectiu d'una manera més dinàmica.

Finalment, es podria millorar el projecte augmentant la mecànica i física del prototip. Fer-lo capaç de moure's en més tipus de superfícies, intentar de protegir-lo del agents externs, aportar-li potència amb la finalitat de que pogués portar un o més carros i estudiar aquests comportament



Bibliografia

- [1] C. S. Engineering, C. Technology, and F. State, "INTELLIGENT AGV WITH NAVIGATION , OBJECT DETECTION AND AVOIDANCE IN AN UNKNOWN MASTER TECHNOLOGIAE: ENGINEERING : ELECTRICAL," no. January, 2007.
- [2] R. R. Herraiz, J. T. Tom, and I. Fecha, "PALETIZADAS Tomo 1 : Memoria," pp. 1–121, 2015.
- [3] B. Jacobsen and W. Marquering, "R Ealizing Innovations in Service Firms E Rasmus R Esearch I Nstitute of M Anagement Report Series," no. 0, 2004.
- [4] R. Marfievici, A. L. Murphy, G. Pietro Picco, F. Ossi, and F. Cagnacci, "How Environmental Factors Impact Outdoor Wireless Sensor Networks: A Case Study," Proc. IEEE 10th Int. Conf. Mob. Ad-Hoc Sens. Syst. (MASS '13), pp. 565–573, 2013.
- [5] D. David, P. Albillos, D. Juan, and I. L. Salgado, "Máster en Ingeniería Industrial TRABAJO FIN DE MÁSTER Diseño e implantación de una línea de AGVs."
- [6] R. Rius Herraiz Director and J. Torres Tomàs, "Diseño de una instalación de transporte robotizado tipo AGV para el transporte de botellas paletizadas."
- [7] D. Tesis Faustino Alarcón Valero Supervisor and E. Daniel López-Pintor Martí, "Tesina Fin de Máster Análisis de Casos de Estudio sobre Industria 4.0 y Clasificación según Sectores de actividad y Departamentos empresariales," 2015.
- [8] A. Julián, M. Zapata, D. Felipe, G. Lema, and A. E. Castro Ospina, "DISEÑO DE PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO DE GUIADO AUTOMÁTICO," 2015.
- [9] T. Le-Anh, M. B. M. De Koster, and D. Koster, "ERIM REPORT SERIES RESEARCH IN MANAGEMENT ERIM Report Series reference number A Review Of Design And Control Of Automated Guided Vehicle Systems A REVIEW OF DESIGN AND CONTROL OF AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEMS," 2004.
- [10] E. Petronella Boje and H. Vermaak, "INTELLIGENT AGV WITH NAVIGATION, OBJECT DETECTION AND AVOIDANCE IN AN UNKNOWN ENVIRONMENT," 2007.
- [11] J. Gonzalez and A. Ollero, "Estimación de la Posición de un Robot Móvil," Proc. Automática, pp. 3–18, 1996.
- [12] A. R. Castaño, A. Ollero, B. M. Vinagre, and Y. Q. Chen, "Synthesis of a spatial lookahead path tracking controller," IFAC Proc. Vol., vol. 16, no. May 2014, pp. 481–486, 2005.
- [13] A. Rodríguez-Castaño, J. Heredia, and A. Ollero, "Fuzzy Path Tracking and Position Estimation of Autonomous Vehicles Using Differential GPS," Mathw. Soft Comput., vol. 1, no. 7, pp. 257–264, 2

